



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ & ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

**Τεχνικές αποσυμφόρησης και βελτιστοποίησης δικτύων κινητών
επικοινωνιών 2^{ης} , 3^{ης} γενιάς και ασύρματων τοπικών δικτύων
WLAN**

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Νικόλαου Χρ. Παπαουλάκη
Διπλωματούχου Ηλεκτρολόγου Μηχανικού & Μηχανικού Η/Υ του
Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου

Αθήνα, Μάιος 2007



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ & ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Τεχνικές αποσυμφόρησης και βελτιστοποίησης δικτύων κινητών επικοινωνιών 2^{ης}, 3^{ης} γενιάς και ασύρματων τοπικών δικτύων WLAN

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Νικόλαου Χρ. Παπαουλάκη

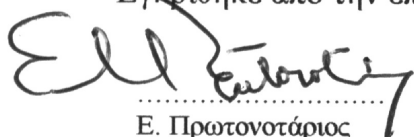
Διπλωματούχου Ηλεκτρολόγου Μηχανικού & Μηχανικού Η/Υ του
Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου

Συμβουλευτική Επιτροπή : Εμμανουήλ Ν. Πρωτονοτάριος

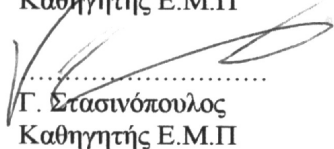
Ιωάννης Αβαριτσιώτης

Ελευθέριος Καγιάφας

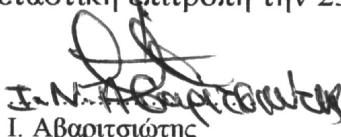
Εγκρίθηκε από την επταμελή εξεταστική επιτροπή την 23^η Μαΐου 2007.



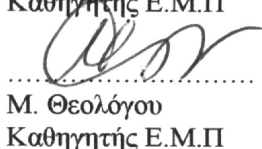
.....
Ε. Πρωτονοτάριος
Καθηγητής Ε.Μ.Π



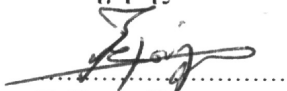
.....
Γ. Στασινόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π



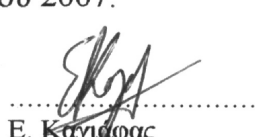
.....
Ι. Αβαριτσιώτης
Καθηγητής Ε.Μ.Π



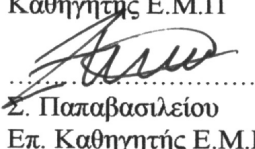
.....
Μ. Θεολόγου
Καθηγητής Ε.Μ.Π



.....
Γ. Σταμούλης
Καθηγητής Οικονομ. Παν/μίου
Αθηνών



.....
Ε. Καγιάφας
Καθηγητής Ε.Μ.Π



.....
Σ. Παπαβασιλείου
Επ. Καθηγητής Ε.Μ.Π

Αθήνα, Μάιος 2007

Νικόλαος Χρ. Παπαουλάκης

Διδάκτωρ Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © **Νικόλαος Χρ. Παπαουλάκης, 2007**

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Αφιερώνεται στους γονείς μου, Χρήστο και Στυλιανή

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Αισθάνομαι μεγάλη χαρά και ικανοποίηση, που με τη βοήθεια του Θεού, κατάφερα να ολοκληρώσω την εκπόνηση της διδακτορικής μου διατριβής, μετά από μακρά προσπάθεια τεσσάρων ετών. Αυτό το εγχείρημα, ήταν αρκετά δύσκολο αλλά και ταυτόχρονα ευχάριστο, αφού η ενασχόληση και η έρευνα πάνω στα ασύρματα δίκτυα είναι συναρπαστική και γεμάτη εκπλήξεις. Αυτή η διδακτορική διατριβή ήταν ένας στόχος από τα πρώτα φοιτητικά μου χρόνια και νομίζω ότι δεν υπάρχει μεγαλύτερη χαρά σε ένα άνθρωπο, από την επίτευξη των στόχων και την εκπλήρωση των ιδεών του.

Τα ασύρματα δίκτυα επικοινωνιών, ήταν από τα σχολικά μου χρόνια (σαν ραδιοερασιτέχνης) ένα από τα κύρια ενδιαφέροντα μου. Αυτό αποτέλεσε και το ερέθισμα να εντείνω τις προσπάθειές μου, για την εισαγωγή μου στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, μέσα από το οποίο απέκτησα την κατάλληλη επιστημονική κατάρτιση, για να αντεπεξέλθω στις απαιτήσεις που επιβάλλει μια διδακτορική διατριβή.

Η ολοκλήρωση της διατριβής μου, κατέστη δυνατή χάρη στην συμπαράσταση και την βοήθεια μερικών ανθρώπων. Πρώτα ευχαριστώ τους γονείς μου για τις θυσίες που έκαναν για να φτάσω να έχω την αντάξια παιδεία για την ολοκλήρωση της διδακτορικής διατριβής. Η αγάπη, η ηθική τους συμπαράσταση, αλλά και η διδασχή τους, στο να πιστεύω σε ορισμένα υψηλά ιδανικά, όπως αγάπη και αγαθό πνεύμα συνεργασίας με τους συνανθρώπους, έπαιξαν σημαντικό ρόλο στην ζωή μου. Επίσης, μου πρόσφεραν απλόχερα τα απαραίτητα ψυχικά, πνευματικά και υλικά εφόδια για να αντεπεξέλθω στις ακαδημαϊκές υποχρεώσεις μου.

Κατά την διάρκεια της διατριβής μου, είχα την τύχη να συνεργαστώ με αξιόλογους συναδέλφους μου από το Εργαστήριο Τηλεπικοινωνιών και Δικτύων (ISO Lab), είτε μέσω ερευνητικών προγραμμάτων, είτε μέσω προσωπικών επιστημονικών ανησυχιών. Υπήρξαν για εμένα πολύτιμοι συνεργάτες και πάνω από όλα φίλοι.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Εμμανουήλ Πρωτονοτάριο, Καθηγητή του ΕΜΠ, ο οποίος έδειξε εμπιστοσύνη στο πρόσωπο μου, με συμβούλεψε με την πολύχρονη εμπειρία του και τις γνώσεις του και με στήριξε καθ' όλη την διάρκεια της ερευνητικής μου σταδιοδρομίας. Μαζί με τον κύριο Πρωτονοτάριο θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς ευχαριστίες μου για τις πολύτιμες συμβουλές τους, τα μέλη της τριμελούς επιτροπής κ. Ι. Αβαριτσιώτη, Καθηγητή ΕΜΠ, και κ. Ε. Καγιάφα, Καθηγητή ΕΜΠ.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω το κ. Μ. Θεολόγου, Καθηγητή ΕΜΠ, διότι μέσα από το μάθημα του Δίκτυα Κινητών και Προσωπικών Επικοινωνιών, απέκτησα σωστές βάσεις πάνω στα ασύρματα δίκτυα. Αυτό μου έδωσε το θάρρος, όταν ήμουν πλέον πτυχιούχος και υποψήφιος διδάκτορας να του προτείνω την προσθήκη καποιον επιπλέον στοιχείων στο μάθημα, καθώς και κάποια εργαστηριακά πειράματα, έτσι ώστε να ενδυναμωθεί των ενδιαφέρον από τους φοιτητές. Επίσης τον ευχαριστώ για την τιμή και εμπιστοσύνη που μου έδειξε αναθέτοντας, την εισήγηση κάποιων θεμάτων για τις εξετάσεις του άνωθεν μαθήματος.

Ακόμα, εκφράζω τις αληθινές ευχαριστίες μου και στον κύριο Γεώργιο Στασινόπουλο Καθηγητή ΕΜΠ, καθώς και τους καθηγητές Συμεών Παπαβασίλειου και Γεώργιο Σταμούλη, μέλη της επταμελούς επιτροπής, για τις πολύτιμες συμβουλές τους πάνω στην διδακτορική μου διατριβή.

Ολοκληρώνοντας αυτές τις γραμμές, θα ήθελα να εκφράσω την αμέριστη αγάπη και ευγνωμοσύνη και στην αδελφή μου Νικολέτα και στους αδελφούς μου, Εμμανουήλ και Ανδρέα, διότι υπήρξαν συνοδοιπόροι και αρωγοί σε αυτό το δύσκολο εγχείρημα.

Τέλος, θα ήθελα να αφιερώσω την παρούσα διατριβή μου, στον πατέρα μου Χρήστο και στην μητέρα μου Στυλιανή και να τους ευχαριστήσω από τα βάθη της καρδιάς μου, για την συμπαράστασή τους στο δύσκολο αλλά και συναρπαστικό αγώνα της μάθησης.

Νικόλαος Χρ. Παπαουλάκης

Αθήνα, 23 Μαΐου 2007

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα τελευταία χρόνια, οι τηλεπικοινωνιακές απαιτήσεις των ανθρώπων, αλλά και οι δικτυακές απαιτήσεις των ηλεκτρονικών υπολογιστών γενικά, έχουν γνωρίσει θεαματική αύξηση. Αποτέλεσμα αυτής της εκρηκτικής τηλεπικοινωνιακής ζήτησης, είναι η ραγδαία τεχνολογική ανάπτυξη των ενσύρματων και ασύρματων δικτύων. Η εισαγωγή των κινητών επικοινωνιών επέφερε σημαντικότερες αλλαγές στην ζωή και στις κοινωνικές συνήθειες των ανθρώπων. Η διεύδυση της κινητής τηλεφωνίας στην παγκόσμια αγορά τηλεπικοινωνιών, έχει ξεπεράσει κατά πολύ τις αρχικές προσδοκίες. Ο αριθμός των συνδρομητών στα δίκτυα κινητών επικοινωνιών έχει ήδη ξεπεράσει κατά πολύ αυτών της σταθερής τηλεφωνίας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ο ρυθμός εισαγωγής χρηστών αλλά και υπηρεσιών στα ασύρματα δίκτυα να είναι ραγδαίος, που παρά την αντίστοιχη ανάπτυξη και επέκταση των δικτύων, η αυξημένη ζήτηση σε τηλεπικοινωνιακούς πόρους, να οδηγεί συχνά τα δίκτυα κινητών επικοινωνιών, σε καταστάσεις συμφόρησης.

Στα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας, η διαστασιοποίηση (dimensioning) του δικτύου είναι μια πολύ δύσκολη και χρονοβόρα διαδικασία για τον σχεδιαστή, ο οποίος θα πρέπει να αναπτύξει ένα δίκτυο, το οποίο όχι μόνο θα παρέχει επαρκή ραδιοκάλυψη αλλά και εξασφαλισμένη ποιότητα QoS στις διάφορες υπηρεσίες. Αυτό εξασφαλίζει ότι θα απολαμβάνει τις υπηρεσίες χωρίς προβλήματα, όπως π.χ. επιτυχή διεκπεραίωση όλων των κλήσεων, χωρίς αποτυχημένες προσπάθειες και καθυστερήσεις. Όπως είναι γνωστό η ραδιοπύοροι είναι αρκετά περιορισμένοι σε αριθμό στα κυβελωτά δίκτυα, καθώς επίσης είναι και πανάκριβη η άδεια απόκτησης τους. Έτσι, ο μηχανικός θα πρέπει να αξιοποίηση των διαθέσιμο αριθμό καναλιών με αποδοτικότητα, όπως συχνή αναχρησιμοποίηση των πόρων χωρίς όμως να δημιουργούνται επιβλαβείς παρεμβολές. Επίσης, είναι τέτοια η φύση των δικτύων κινητών επικοινωνιών, που τότε δεν μπορείς να εγγυηθείς την απόλυτη παροχή τηλεπικοινωνιακών πόρων, σε αντίθεση με ένα σταθερό τηλεφωνικό δίκτυο, στο οποίο υπάρχει η πληροφορία, του μέγιστου αριθμού χρηστών που αναμένονται ανά πάσα στιγμή, σε μια γεωγραφική περιοχή. Φυσικά, αυτό δεν μπορεί να γίνει σε ένα δίκτυο κινητών επικοινωνιών, διότι ο αριθμός των χρηστών γεωγραφικά μπορεί να αλλάξει δραματικά. Ένα επιπρόσθετο χαρακτηριστικό είναι, ότι τα νέας γενιάς δίκτυα κινητών επικοινωνιών υποστηρίζουν ένα μεγάλο πλήθος υπηρεσιών, άλλες υποστηριζόμενες πάνω από υπηρεσίες μεταγωγής κυκλώματος CS (circuit switch) και άλλες πάνω μεταγωγή πακέτου (packet switch) PS. Αυτό οδήγησε στην εισαγωγή υπηρεσιών που έχουν μεγάλη απαίτηση σε δικτυακούς πόρους, όπως η αποστολή και λήψη MMS, mobile TV, videoconference κλπ. Αυτή η εκρηκτική ανάπτυξη νέων υπηρεσιών δεν έχει ακολουθηθεί από ανάλογη έρευνα και ανάπτυξη στο τομέα των τεχνικών διαχείρισης των ραδιοπόρων. Επιπρόσθετα δεν υπάρχουν ευφυείς και δυναμικοί μηχανισμοί - τεχνικές επίλυσης της συμφόρησης στα δίκτυα. Αυτή η έλλειψη, από τα σύγχρονα δίκτυα, οδηγεί στο να παρατηρούνται αρκετά συχνά προβλήματα, κατά τις ώρες αιχμής, σε περιπτώσεις κοινωνικών - αθλητικών εκδηλώσεων αλλά ειδικά σε καταστάσεις έκτακτων αναγκών - φυσικών καταστροφών (π.χ. σεισμοί), στις οποίες η επικοινωνία είναι πολύ σημαντική. Αυτό όπως είναι φυσικό μειώνει κατακόρυφα την ποιότητα των υπηρεσιών που παρέχονται, QoS στους χρήστες, μ' αποτέλεσμα οι εταιρίες παροχής κινητών επικοινωνιών να γίνονται αποδέκτες αρνητικών σχολίων από τους πελάτες τους.

Τα σύγχρονα δίκτυα έχουν κάποιους μηχανισμούς και τεχνικές για τη καλύτερη αξιοποίηση των πόρων του δικτύου, που όμως δεν είναι δυναμικές και απαιτούν ένα πλήρως βελτιστοποιημένο δίκτυο για να επιφέρουν τα αναμενόμενα. Έτσι προκύπτει η επιτακτική ανάγκη για την δημιουργία νέων τεχνικών και δυναμικών μηχανισμών, που σε συνεργασία με μια πλατφόρμα συνεχής παρακολούθησης του δικτύου (network monitoring), να εφαρμόζει δυναμικά

τις τεχνικές, έτσι ώστε να επιλύονται γρήγορα και αποτελεσματικά τα προβλήματα συμμόρφωσης.

Βάση όλων αυτών, αντικείμενο αυτής διδακτορικής διατριβής, είναι η επινόηση και μελέτη τεχνικών βελτιστοποίηση και αποσυμφόρησης σε κυβελωτά δίκτυα 2^{ης}, 3^{ης} καθώς για τα ασύρματα τοπικά δίκτυα IEEE 802.11x γνωστά και σαν WLANs. Σε αυτήν την εργασία, γίνονται καινοτόμες προτάσεις για την εισαγωγή νέων μηχανισμών, που έχουν σαν σκοπό την δυναμική μεταβολή των περιοχών κυριαρχίας των σταθμών βάσεων, για την επίτευξη ομοιόμορφης κατανομής των χρηστών στο δίκτυο και αποφυγής καταστάσεων συμμόρφωσης.

Επίσης, προτείνεται ένας μηχανισμός αποφυγής καταστάσεων συμμόρφωσης που βασίζεται στην ιδέα, ότι κάθε σταθμός βάσης πρέπει να εκπέμπει προς όλα τα τερματικά κινητά, εκτός από τις πληροφορίες του συστήματος και στοιχεία για την διαθεσιμότητα των τηλεπικοινωνιακών του πόρων. Όλα αυτά θα συνυπολογίζονται σε ένα νέο μηχανισμό επιλογής κυρίαρχου σταθμού βάσης. Σημειώνεται, ότι οι παραπάνω τεχνικές καθώς και οι άλλες που θα αναφερθούν, μπορούν να εφαρμοστούν σε όλα τα δίκτυα κινητών επικοινωνιών.

Η μελέτη και η ανάπτυξη των τεχνικών γίνεται τόσο σε θεωρητικό όσο και πρακτικό επίπεδο, με την εφαρμογή τους σε πραγματικά δίκτυα WLAN (δίκτυο WonderLANd που καλύπτει το NTUA campus) άλλα και σε πλατφόρμες δοκιμών (testbed) 2^{ης} και 3^{ης} γενιάς, που παραχωρήθηκαν από την COSMOTE. Τα αποτελέσματα των δοκιμών σε πραγματικές συνθήκες, συνοδεύονται και με αποτελέσματα από την χρήση εξομοιωτών ραδιοκάλυψης και άλλων εργαλείων (ASTRIX για δίκτυα GSM 900, DCS 1800 και UMTS, WinProp για WLAN), όπως και χρήση ειδικών τερματικών με εξειδικευμένο λογισμικό για μηχανικούς (net monitor), έτσι ώστε να γίνονται πιο κατανοητές ορισμένες λειτουργίες πάνω στις οποίες επιδρούν οι τεχνικές. Οι τεχνικές αποσκοπούν στη βελτιστοποίηση της χρήση των ραδιοπόρων και την ελαχιστοποίηση της πιθανότητα απώλειας μιας κλήσης. Οι βασικές δικτυακές λειτουργίες στις οποίες επιδρούν οι τεχνικές είναι ο μηχανισμός επιλογής του κυρίαρχου σταθμού βάσης (cell reselection), έτσι ώστε όπως αναφέραμε, να γίνεται ομοιόμορφη κατανομή των χρηστών στο δίκτυο, καθώς και η εκπομπή από του σταθμούς βάσης κρίσιμων πληροφοριών τηλεπικοινωνιακής κίνησης του συστήματος ανά κυβέλη, έτσι ώστε να δημιουργηθεί ένας μηχανισμός πρόληψης καταστάσεων συμμόρφωσης.

Ενδεικτικά κάποιες από τις τεχνικές, που θα εξεταστούν είναι:

- Κράτηση φάσματος
- Dynamic cell resizing with dynamic alteration of cell reselection criteria (GSM 900 – DCS1800, UMTS, WLAN)
- Dynamic cell resizing with the minimum Rx Level modification (GSM 900 – DCS1800, UMTS)
- Τροποποίηση της λίστας των BCCH συχνοτήτων, εξαιτίας δικτυακής συμμόρφωσης (GSM 900 – DCS1800, UMTS, WLAN)
- Χρήση πολλαπλών BCCH πομποδεκτών (GSM 900 – DCS1800, UMTS)
- Μηχανισμός αποφυγής και πρόληψης συμμόρφωσης σε δίκτυα (GSM 900 – DCS1800, UMTS, WLAN)

Πρέπει να σημειωθεί, ότι οι παραπάνω τεχνικές αποσυμφόρησης δεν αναφέρονται σε προηγούμενη βιβλιογραφία και αναπτύχθηκαν αποκλειστικά κατά τη διάρκεια αυτής της διδακτορικής διατριβής.

ABSTRACT

At the recent years the telecommunication demands of people and the personal computers, have meet a spectacular increase. As a result, this extremely growth on telecommunication resources have lead to a rapid technological development on wire and wireless networks. The introduction of mobile telecommunication has a lot of effects on the human's life and social customs. The penetration of mobile telephony in the global telecommunication market, has already overcome all the initial expectations. The number of mobile subscriptions have already overcome the number of that on fixed telephony. The results of this enormous growth is that the number of subscribers and services becomes bigger and bigger. On the other, we have a corresponding development on mobile networks but it is not adequate and the modern networks faces up various capacity problems, like congestion and lack of QoS.

In mobile telecommunication networks, dimensioning is a very difficult and sophisticated procedure. The engineers have to design networks that have the appropriate radio coverage but also the adequate radio resources in order to provide all the services with guarantee QoS. In this way the end user of the network will utilize various services without problems. For example for the voice service the call blocking probability will be low, which means that the probability a user to demand a voice service and its request to be rejected is low. On the other hand, it is well known that the scarce radio spectrum provide a limited number of telecommunication resources. Thus, the engineer has to utilize it, with efficiency, like as perform dense frequency reuse while we keep the interferences level as low as possible. Another problem, that the mobile networks have, is that it is not possible to predict the number of users in a determined geographical area, something that it is possible in fixed networking.

As well as the new generation mobile networks support a wide variety of services. We have the circuit switch service like the conventional voice service, fax and multi-channel data services (HSCSD) and on the other hand the broadband packet switched services like video conference, broadband data services, multimedia and TV streaming. Especially, the latest introduced services have extremely bandwidth demands. The boom on these services has not been followed from a corresponding growth on the radio resource management techniques. Thus, there is a lack on dynamic and efficient congestion avoidance mechanisms, which leads frequently the mobile networks to be congested especially during busy hours or under emergency situations like earthquake etc. For these reasons the mobile providers become recipients of bad review from user that demands high QoS on their services according to service provision contracts.

The modern mobile networks have radio resource management mechanisms in order to face up congestion situations. But because they are not dynamic and demand, an already optimized network, in order to perform the expected results. For this reason it is imperative challenge and need to invent new dynamic, reconfigurable and efficient radio resource management techniques that with the cooperation of a network monitoring element, will be capable to face up all congestion scenarios.

For this reason, the objective of this doctoral study is to invent and study innovative and dynamic radio resource management techniques for mobile networks of 2nd and 3rd generation as such for the wireless local networks like IEEE 802.11 networks. In this work, we present novel techniques, which have as target the dynamic alteration of the dominance areas of congested base stations, in order to achieve uniformly user distribution along the mobile network. These kind of techniques could be implemented in all Radio Access Technologies (RATs). Also, we present a congestion avoidance mechanism which could be implemented on all infrastructure RATs. This mechanism aims to broadcast via system information of each base

station supplementary information about the traffic status, which are going to be evaluated in the cell reselection mechanism.

All the techniques are tested and evaluated in real networks (WLAN) and test beds for GSM 900, DCS 1800 and UMTS. Also, we present results from simulations with state of the art radio planning tools like ASTRIX for GSM 900, DCS 1800 and UMTS networks.

Suggestively, we are going to present the following techniques:

- Bandwidth reservation (GSM 900 – DCS1800, UMTS)
- Dynamic cell resizing with dynamic alteration of cell reselection criteria (GSM 900 – DCS1800, UMTS, WLAN)
- Dynamic cell resizing with the minimum Rx Level modification (GSM 900 – DCS1800, UMTS)
- Dynamic modification of BCCH frequency list (GSM 900 – DCS1800, UMTS)
- Utilization of multiple BCCH TRXs (GSM 900 – DCS1800, UMTS)
- Congestion avoidance mechanism (GSM 900 – DCS1800, UMTS, WLAN)

All the radio resource management techniques and the congestion avoidance mechanism are being deployed during this work and for first time in the literature.

Περιεχόμενα

1 Εισαγωγή.....	11
1.1 Αντικείμενο της διδακτορικής διατριβής	12
2 GSM.....	13
2.1 Εισαγωγικά.....	13
2.2 Παρεχόμενες υπηρεσίες	13
2.3 Αρχιτεκτονική του συστήματος GSM.....	14
2.3.1 Κινητό Τερματικό (MT).....	14
2.3.2 Υποσύστημα σταθμού βάσης (BSS).....	15
2.3.3 Υποσύστημα μεταγωγής δικτύου (NSS).....	17
2.4 Air Interface	19
2.4.1 Ραδιοφάσμα.....	19
2.4.2 Φυσικά κανάλια.....	20
2.4.3 Λογικά κανάλια και διαδικασία πραγματοποίηση κλήσης	22
2.4.4 Κωδικοποίηση φωνής.....	31
2.4.5 Υποστήριξη κινητικότητας	32
3 GPRS	33
3.1 Εισαγωγή.....	33
3.2 Εφαρμογές GPRS.....	34
3.3 Κινητά τερματικά GPRS	34
3.3.1 Τάξεις τερματικών GPRS.....	34
3.3.2 Τύποι τερματικών GPRS.....	35
3.4 Αρχιτεκτονική GPRS	36
3.4.1 Base Station Subsystem (BSS).....	37
3.4.2 Δίκτυο GPRS.....	37
3.4.3 Διαχείριση κινητικότητας GPRS.....	37
3.5 Επικοινωνία δεδομένων GPRS	38
3.5.1 Υπηρεσία GPRS	38
3.5.2 Δρομολόγηση δεδομένων.....	38
3.5.3 Διαχείριση κινητικότητας GPRS.....	40
3.6 Τα κανάλια στο GPRS	42
3.6.1 Το φυσικό κανάλι.....	42
3.6.2 Τα λογικά κανάλια	42
3.6.3 Υποστηριζόμενοι ρυθμοί.....	43
4 EDGE.....	49
4.1 Εισαγωγή.....	49
4.2 Λεπτομέρειες.....	50
5 Dynamic SDCCH allocation.....	52
5.1 Εισαγωγή.....	52
5.2 Περιγραφή της μεθόδου	53
5.2.1 Ιδιότητες.....	53
5.2.2 Περιορισμοί.....	54
5.2.3 Χωρητικότητα	54
5.2.4 Αλληλεπίδραση με άλλα στοιχεία το δικτύου.....	55
5.2.5 Αλληλεπίδραση με άλλα χαρακτηριστικά του δικτύου	55
5.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της μεθόδου	56
5.4 Παράδειγμα	57

6 FACCH Call Set-up	62
6.1 Εισαγωγή.....	62
6.2 Πλεονεκτήματα	63
6.3 Μειονεκτήματα	63
6.4 Παράδειγμα	63
6.5 Εξομοιώσεις από την εφαρμογή του Dynamic SDCCH και FACCH	64
7 Επιλογή ρυθμού μετάδοσης καναλιού TCH βάση του τηλεπικοινωνιακού φορτίου... 67	67
7.1 Εισαγωγή.....	67
7.2 Περιγραφή της μεθόδου	67
7.2.1 Ιδιότητες.....	67
7.2.2 Παράμετροι	68
7.2.3 Αλληλεπίδραση με άλλα δικτυακά στοιχεία.....	69
7.3 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα.....	70
7.4 Αποτελέσματα από την εφαρμογή της τεχνικής	71
8 Ανάθεση TCH με προτεραιότητα στα TRX..... 73	73
8.1 Εισαγωγή.....	73
8.2 Περιγραφή της τεχνικής	73
8.2.1 Ιδιότητες.....	73
8.2.2 Παράμετροι	74
8.2.3 Αλληλεπίδραση μ’ άλλες μεθόδους	75
8.3 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα.....	75
8.4 Παράδειγμα	75
8.4.1 Χωρίς προτεραιότητα ανάθεσης στο BCCH.....	76
8.4.2 Με προτεραιότητα ανάθεσης στο BCCH.....	76
9 Διαδικασία ενημέρωσης θέσης (Location Update)	77
9.1 Εισαγωγή.....	77
9.2 Αναλυτική περιγραφή της διαδικασίας.....	77
9.3 Παραδείγματα	82
9.3.1 1ο Παράδειγμα	83
9.3.2 2ο Παράδειγμα	84
9.4 Φαινόμενο “ping-pong”	85
10 Κράτηση φάσματος (Bandwidth-Trunk Reservation Algorithm, Prioritisation)..... 86	86
10.1 Εισαγωγή.....	86
10.2 Αναλυτική περιγραφή της διαδικασίας.....	86
10.2.1 Παράδειγμα	87
10.3 Τύπος προτεραιότητας συνδρομητή.....	87
10.4 Στατική μέθοδος δέσμευσης (Static reservation method).....	88
10.5 Δυναμική μέθοδος δέσμευσης (Dynamic reservation method)	88
10.5.1 Σενάριο εφαρμογής της μεθόδου	89
10.6 Emergency situations	90
11 Dynamic Cell resizing with C2 value	91
11.1 Εφαρμογή της μεθόδου δυναμικού reselection.....	91
11.2 C1 (path loss-criterium)	92
11.3 C2 (cell-reselection criterion).....	92
11.3.1 State Of The Art	93
11.3.2 Εφαρμογή της μεθόδου και παραδείγματα	93
11.3.3 Εφαρμογή της μεθόδου για την αποσυμφόρηση των umbrella cells	101
11.3.4 Εφαρμογή της μεθόδου σε αρχιτεκτονική micro – macro	102
11.3.5 Παράδειγμα με congested cell σε σύνορο δυο LA.....	103
11.3.6 Χρήση των C2 Values στα pico-cells	104

11.3.7	Σύντομη περιγραφή της διαδικασίας του directed Retry	105
11.3.8	Πειραματικά αποτελέσματα	105
11.3.9	Εφαρμογή και σύνταξη της τεχνικής σε NOKIA BSC	111
11.4	Συμπεράσματα.....	113
12	Dynamic Cell resizing with the Rx Level	114
12.1	Εισαγωγή.....	114
12.2	Παράμετροι	114
12.3	Εφαρμογές.....	114
12.4	Εφαρμογή και σύνταξη της τεχνικής σε NOKIA BSC	115
12.5	Παραδείγματα	116
13	Τροποποίηση της λίστας BCCH συχνοτήτων, εξαιτίας δικτυακής συμφόρησης	119
13.1	Εισαγωγή.....	119
13.2	Περιγραφή της μεθόδου	120
13.3	Πλεονεκτήματα – μειονεκτήματα	120
13.4	Εφαρμογή και σύνταξη της τεχνικής σε NOKIA BSC	121
13.5	Αποτελέσματα	122
14	Μηχανισμός αποφυγής και πρόληψης συμφόρησης σε δίκτυα GSM/GPRS.....	123
14.1	Εισαγωγή.....	123
14.2	Περιγραφή και υλοποίηση της μεθόδου στο GSM/GPRS.....	124
14.2.1	Ομαδοποίηση των τηλεπικοινωνιακών πόρων.....	124
14.2.2	Μέθοδος ανακοινώσεις των δεικτών προς τα MT	125
14.2.3	Παραδείγματα από την εφαρμογή του μηχανισμού.....	127
14.2.4	Εφαρμογή σε πραγματικό GSM δίκτυο και υπολογισμός των δεικτών διαθεσιμότητας.....	129
15	Χρησιμοποίηση πολλαπλών BCCH TRXs.....	130
15.1	Περιγραφή προβλήματος εξάντλησης των CCCH από το GPRS	132
15.2	Χωρητικότητα σε κανάλια αναζήτησης PCH και εκχώρησης AGCH	134
15.3	Παραδείγματα υπολογισμού χωρητικότητας σε PCH/ AGCH	135
15.4	Περιγραφή της τεχνικής	135
15.5	Επηρεασμός άλλων στοιχείων του δικτύου	139
15.6	Παράμετροι	139
15.7	Περιορισμοί.....	139
15.8	Θεωρητικά αποτέλεσμα από την εφαρμογή της μεθόδου.....	139
15.9	Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα	140
16	Δυναμική εκμετάλλευση ραδιοπόρων γειτονικών κυψελών	142
16.1	Εισαγωγή.....	142
16.2	Περιγραφή.....	142
16.3	Επηρεασμός άλλων στοιχείων του δικτύου	145
16.4	Εφαρμογή και σύνταξη της τεχνικής σε NOKIA BSC	145
16.5	Περιορισμοί.....	146
16.6	Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα	146
16.7	Θεωρητικά αποτελέσματα.....	147
17	Δυναμική διαρρύθμιση της κατανομής καναλιών.....	150
17.1	Εισαγωγή.....	150
17.2	Παράμετροι της τεχνικής	151
17.3	Εφαρμογή και σύνταξη της τεχνικής σε NOKIA BSC	151
17.4	Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα	152
18	UMTS	153
18.1	Εισαγωγή.....	153
18.2	Αρχιτεκτονική UMTS	153

18.2.1 Node-B	154
18.2.2 RNC.....	155
18.3 Ραδιοπόροι UMTS	155
18.3.1 Κανάλια Μεταφοράς	156
18.3.2 Φυσικά Κανάλια.....	157
18.3.3 Απονομή πόρων	160
18.3.4 Αναζήτηση Κυψέλης.....	160
18.3.5 Επανεπιλογή Κυψέλης (Cell reselection).....	161
18.3.6 Διαδικασία διαπομπής (handover)	164
19 Βελτιστοποίηση της Ραδιοκάλυψης και της Διαστασιοποίησης UMTS δικτύων	167
19.1 Γενικά.....	167
19.2 Μελέτη της Ραδιοκάλυψης του δικτύου	168
19.2.1 Ιδιαιτερότητες σχεδίασης των δικτύων UMTS.....	168
19.2.2 Χαρακτηριστικά RF περιβάλλοντος του UMTS.....	170
19.3 Αρχική σχεδίαση δικτύου.....	171
19.3.1 Ισολογισμός ισχύος ραδιοκάλυψης UMTS (radio link power budget).....	172
19.3.2 Επιλογή και διαμόρφωση εξοπλισμού σταθμού βάσης	179
19.3.3 Δομή Ιεραρχίας στους σταθμούς βάσης.....	183
19.3.4 Συγκατοίκηση UMTS – GSM (UMTS – GSM co-sitting)	183
19.4 Διαδικασία Pilot Pre-planning (No traffic – No Monte-Carlo).....	186
19.5 Τελική ρύθμιση παραμέτρων κυψέλης UMTS	191
19.6 Βήματα και οδηγίες για την τελική βελτιστοποίηση του δικτύου UMTS	191
19.6.1 Οδηγίες και βήματα βελτιστοποίησης.....	192
19.6.2 Low traffic density 10-20 Erl/Km.....	192
19.6.3 Medium traffic density 30-50 Erl/Km.....	192
19.6.4 High traffic density 100-150 Erl/Km	192
19.7 UMTS Radio Planning KPIs	193
19.8 Uplink & Downlink capacity-limited σενάρια.....	193
19.9 Εκτίμηση των KPIs στο UMTS Radio Planning.....	194
19.10 Παραδείγματα βελτιστοποίησης δικτύου UMTS	195
19.10.1 Pre-Pilot Planning	196
19.10.2 Pilot Count.....	197
19.10.3 Pilot Ec/Io (χωρίς κίνηση).....	198
19.10.4 Pilot Ec/Io (με κίνηση).....	200
19.10.5 Pilot DL F-factor	201
19.10.6 No of Active Set.....	202
19.10.7 Coverage Probability 200 Erl / Km ²	203
19.10.8 UL Required Power.....	204
19.10.9 DL Required Power.....	206
19.10.10 Pilot Ec/Io under heavy congestion.....	208
19.10.11 UL F- Ratio	209
19.10.12 UL Noise Rise	210
19.10.13 UL Wideband Load	212
19.10.14 Outage Reason.....	213
19.10.15 Introducing BroadBand services – New problems.....	214
19.10.16 GSM vs. UMTS.....	215
20 Τεχνικό Cell Breathing για την επίτευξη Load balancing σε δίκτυο UMTS.....	216
20.1 Εισαγωγή.....	216
20.1.1 Inter RAT cell mechanism	217
20.1.2 Intra-Frequency Cell Reselection Criteria.....	218

20.1.3 Inter-Frequency Cell Reselection Criteria HSC.....	218
20.1.4 Το κριτήριο ταξινόμησης κυψελών (cell-ranking criterion) R	219
20.2 Περιγραφή της τεχνικής	219
20.3 Πειραματικά αποτελέσματα	224
21 Τροποποίηση του Admission Control και των Minimum Access Levels.....	230
21.1 Εισαγωγή.....	230
21.2 Περιγραφή της τεχνικής και παράμετροι	230
21.2.1 Δυναμική τροποποίηση του Uplink Admission Control parameters	231
21.2.2 Δυναμική τροποποίηση του Uplink Open-Loop Power Control	232
21.2.3 Με δυναμική τροποποίηση των παραμέτρων Qrxlevmin ή Qqualmin.....	232
22 Τεχνικό De-Sensitisation για αύξηση της χωρητικότητας.....	233
22.1 Εισαγωγή.....	233
22.2 Περιγραφή και εφαρμογή της μεθόδου.....	233
22.3 Αποτελέσματα από την εφαρμογή της μεθόδου.....	234
23 Τροποποίηση της λίστας γειτονικών σταθμών βάσης σε ένα Node B	237
23.1 Εισαγωγή.....	237
23.2 Περιγραφή της μεθόδου	237
23.3 Αποτελέσματα	238
24 Ασύρματα Τοπικά Δίκτυα (WLAN)	239
24.1 Εισαγωγή.....	239
24.2 Τοπολογίες	239
24.3 Κατηγορίες WLAN – HIPERLAN	241
24.3.1 Bluetooth	241
24.3.2 IEEE 802.11	242
24.4 Εισαγωγή στο IEEE 802.11	242
24.4.1 Ιστορία.....	242
24.4.2 Αρχιτεκτονική	243
24.4.3 IEEE 802.11b MAC - Τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης του μέσου	244
24.3.4 IEEE 802.11b Physic Layer - Frequency Band.....	247
25 Δυναμική μεταβολή της RF ισχύος εκπομπής WLAN σταθμού βάσης.....	249
25.1 Εφαρμογή της μεθόδου δυναμικής μεταβολής της ισχύος εκπομπής ενός WLAN σταθμού βάσης	249
25.2 Ανάλυση του μηχανισμού επιλογής AP σε ασύρματα τοπικά δίκτυα	249
25.3 Επηρεασμός των στοιχείων του δικτύου.....	250
25.4 Παράμετροι	250
25.5 Εφαρμογή της τεχνικής και παραδείγματα	251
25.6 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα	260
26 Δυναμική ενεργοποίηση-απενεργοποίηση του μηχανισμού RTS/CTS.....	261
26.1 Γενικά.....	261
26.2 Περιγραφή μηχανισμού RTS/CTS	262
26.3 Δυναμική ενεργοποίηση/απενεργοποίηση του μηχανισμού RTS/CTS	265
26.4 Πλεονεκτήματα	266
26.5 Πειραματικά αποτελέσματα	266
26.5.1 Μετρήσεις σε εργαστηριακό περιβάλλον	266
26.5.2 Μετρήσεις σε πραγματικό δίκτυο	267
26.6 Συμπεράσματα.....	269
27 Δυναμική τροποποίηση του Fragmentation Threshold.....	270
27.1 Εισαγωγή.....	270
27.2 Περιγραφή της τεχνικής	270
27.3 Πλεονεκτήματα	272

27.4 Μειονεκτήματα	272
27.5 Πειραματικά αποτελέσματα και Μετρήσεις σε εργαστηριακό περιβάλλον	272
27.6 Μετρήσεις σε πραγματικό δίκτυο	273
27.6.1 Αποτελέσματα	274
28 Dynamic Forced AP Reselection	278
28.1 Εφαρμογή της μεθόδου δυναμικής επιλογής AP με χρήση του μηχανισμού MAC Filtering	278
28.2 Περιγραφή του μηχανισμού καθοδηγούμενης επιλογής AP	278
28.3 Επηρεασμός των στοιχείων του δικτύου	279
28.4 Παράμετροι	279
28.5 Εφαρμογή της τεχνικής και παραδείγματα	280
28.5.1 Παρουσίαση μετρήσεων	282
28.6 Τελικά συμπεράσματα	289
29 Μηχανισμός αποφυγής και πρόληψης συμφόρησης σε δίκτυα IEEE 802.11	290
29.1 Εισαγωγή	290
29.2 Ανάλυση του βελτιωμένου μηχανισμού επιλογής σημείου πρόσβασης σε ασύρματα τοπικά δίκτυα.	291
29.2.1 Τροποποιημένος μηχανισμός AP Reselection	292
29.3 Πλεονεκτήματα / Μειονεκτήματα	294
29.4 Εναλλακτική λύση	294
30 Μηχανισμός αποφυγής και πρόληψης συμφόρησης με υπολογισμό του throughput από τον client.	295
30.1 Περιγραφή του μηχανισμού	295
30.1.1 Δίκτυο χωρίς RTS/CTS	296
30.1.2 Δίκτυο με RTS/CTS	296
30.2 Τροποποιημένος μηχανισμός AP Reselection	297
31 Βιβλιογραφία	299
Παράρτημα Α	301
Κριτήρια επιλογής και αποτίμησης για τις τεχνικές διαχείρισης και αποσυμφόρησης ραδιοπόρων στα δίκτυα κινητών επικοινωνιών	301
I. Τεχνική αποσυμφόρησης σε αντίθεση με την έκταση του προβλήματος	301
II. Τεχνική αποσυμφόρησης σε σχέση με τα λογικά κανάλια	302
III. Εφαρμογή της τεχνικής αποσυμφόρησης σε σχέση με τις γειτονικές κυψέλες	302
IV. Τεχνική αποσυμφόρησης σε σχέση με το σενάριο συμφόρησης	303
V. Τεχνικές αποσυμφόρησης σε σχέση με το GSM 2+ και τις υπηρεσίες	304
VI. Τεχνικές αποσυμφόρησης σε σχέση με την ικανοποίηση των χρηστών του δικτύου .	304
VIII. Τεχνικές αποσυμφόρησης σε σχέση με την διαδικασία ρύθμισης των παραμέτρων	305
VIII. Συμβατότητα των τεχνικών με τους διάφορους κατασκευαστές συστημάτων κινητών δικτύων	308

Συντομογραφίες

3GPP	Third-Generation Partnership Project
ABCSEB	Abis Interface Services
ABIPRB	Abis Interface Program Block
AGCH	Access Grant Channel
AIBSEB	A Interface Applications in BSC
AIVPRB	A interface Signaling Program Block in the BSC
ANSI	American National Standards Institute
ARIB/TTC	Association of Radio Industries and Business/Telecommunication Technology Committee
AuC	Authentication Center
BCCH	Broadcast Control Channel
BCH	Broadcast Channels
BCSU	BSC Signaling Unit
BFHFIL	BTS Forced Handover Data Structure
BG	Border Gateway
BGP	Border Gateway Protocol
BSC	Base Station Controller
BSDATA	BSS radio network configuration DATABASE
BSS	Base Station Subsystem
BSTAFI	BTS State Data Structure
BTS	Base Transceiver Station
CB	Cell Broadcast
CBC	Cell Broadcast Center
CBCH	Cell Broadcast Message
CBFILE	Cell Broadcast message FILE
CCCH	Common Control CHannels
CCH	Control Channel
CEPT	Conference of European Posts and Telegraphs
COTS	Connection-Oriented Transport Service
CS	Circuit Switched
CSD	Circuit Switch Data
CSS R	Call Setup Success Rate
CWTS	Chinese Wireless Telecommunication Standard
DCCH	Dedicated Control Channel
DCS	Digital Cellular System
DRX	Discontinuous Reception
EBNF	Extended Backus-Naur Format
EFR	Enhanced Full Rate

EIR	Equipment Identity Register
eMLPP	Enhanced Multi-Level Precedence and Pre-Emption
EMS	Enhanced Messages Service
ETSI	European Telecommunication Standards Institute
FACCH	Fast Associated Control Channel
FCCH	Frequency Correction Channel
FDMA	Frequency Division Multiple Access
FR	Full Rate
GGSN	Gateway GPRS Support Node
GMSC	Gateway MSC
GOS	Grade Of Service
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile Communications
GTP	GPRS Tunneling Protocol
HLR	Home Location Register
HO	HandOver
HR	Half Rate
HSCSD	High Speed Circuit Switched Data
IMSI	International Mobile Subscriber Identity
IMT-2000	International Mobile Telecommunications 2000
ISDN	Integrated Services Digital Network
ITU	International Telecommunications Union
LA	Location Area
LAC	Location Area Code
LAPD	Link Access Procedure on the D-Channel
LU	Location Update
MCN	Micro Cellular Network
MMI	Man-Machine Interface
MML	Man-Machine Language
MOC	Mobile Originating Call
MoU	Memorandum of Understanding
MS	Mobile Station
MSC	Mobile Switching Center
MSN	Mobile Subscriber Number
MSRN	Mobile Station Roaming Number
MT	Mobile Terminal
MTC	Mobile Terminating Call
NMT	Nordic Mobile Telephone Network
NSS	Network Switching Subsystem

O&M	Operations & Maintenance
OEAPPL	OSI Environment Application Data Handling MML
OMC	Operation and Maintenance Centre
OSI	Open System Interconnection
PACCH	Packet Associated Control CHannel
PAGCH	Packet Access Grant CHannel
PBCCH	Packet Broadcast Control Channel
PC	Power Control
PCCCH	Packet Common Control CHannel
PCH	Paging Channel
PCI	Pre-emption Capability Indicator
PCM	Pulse Code Modulation
PCU	Packet Control Unit
PDA	Personal Digital Assistant
PDCH	Packet Data Channel
PDTCH	Packet Data Traffic CHannel
PDTCH	Packet Data Traffic CHannel
PIE	Priority Information Element
PIN	Personal Identity Number
PLMN	Public Land Mobile Network
PNCH	Packet Notification Channel
POTS	Plain Old Telephone Service
PPCH	Packet Paging CHannel
PRACH	Packet Random Access CHannel
PS	Packet Switched
PTCCH	Packet Timing advance Control CHannel
PVI	Pre-emption Vulnerability Indicator
QA	Queuing Allowed indicator
QoS	Quality of Service
RACH	Random Access CHannel
RCSPRB	Radio Connection Supervision Program Block
RDNSEB	Radio Network Management Services
RF	Radio Frequency
RLC/MAC	Radio Link Control / Medium Access Control
RM	Resource Management
RMT	Resource Management Technique
RNC	Radio Network Controller
RNS	Radio Network System
RPE-LPC	Regular Pulse Excited - Linear Predictive Coder

RRMPRB	Radio Resource Management Program Block
RTSL	Radio Time SLOt
RX	Receiver
RXLEV	Received Signal Level
RXQUAL	Received Signal Quality
SACCH	Slow Associated Control CHannel
SCCH	Signaling Control CHannel
SCH	Synchronization Channel
SDCCH	Stand-alone Dedicated Control CHannel
SDH	Synchronous Digital Hierarchy
SGSN	Serving GPRS Support Node
SIM	Subscriber Identity Module
SLA	Service-Level Agreement
SMS	Short Message Service
SMSCB	Short Message Service Cell Broadcast
SS7	Signaling System 7
TA	Time Advance
TCH	Traffic Channel
TDMA	Time Division Multiple Access
TMSI	Temporary Mobile Subscriber Identity
TPU	Transport Pipe User
TR	Trunk Reservation
TRAU	Transcoding and Rate Adaptation Unit
TRX	Transceiver
TTA	Telecommunications Technology Association
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
USIM	UMTS Subscriber Identity Module
UTRA	UMTS Terrestrial Radio Access
UTRAN	UMTS Terrestrial Radio Access Network
VLR	Visitor Location Register
W-CDMA	Wideband Code Division Multiple Access
IMEI	International Mobile Equipment Identity

1 Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια, οι τηλεπικοινωνιακές ανάγκες των ανθρώπων, αλλά και των ηλεκτρονικών υπολογιστών γενικά, έχουν γνωρίσει θεαματική πρόοδο. Αποτέλεσμα αυτής της εκρηκτικής αύξησης της τηλεπικοινωνιακής ζήτησης είναι η ραγδαία τεχνολογική ανάπτυξη των ενσύρματων και ασύρματων δικτύων. Συγκεκριμένα τα ασύρματα δίκτυα έχουν γνωρίσει σημαντικότερη ανάπτυξη την τελευταία δεκαετία. Η εισαγωγή των κινητών επικοινωνιών επέφερε σημαντικότερες αλλαγές στην ζωή και στις συνήθειες των ανθρώπων. Η διείσδυση της κινητής τηλεφωνίας στην παγκόσμια αγορά τηλεπικοινωνιών, έχει ξεπεράσει κατά πολύ τις αρχικές προσδοκίες και έχει υποσκελίσει ακόμα και την σταθερή τηλεφωνία. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ο ρυθμός εισαγωγής χρηστών αλλά και υπηρεσιών στα ασύρματα δίκτυα να είναι ραγδαίος, που παρά την αντίστοιχη ανάπτυξη και επέκταση των δικτύων, αυτή η αύξηση της ζήτησης σε τηλεπικοινωνιακούς πόρους, να οδηγεί συχνά τα κινητά δίκτυα σε καταστάσεις συμφόρησης. Θα πρέπει να τονιστεί ότι στα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας, η διαδικασία της διαστασιοποίησης (dimensioning) είναι μια πολύ δύσκολη και χρονοβόρα διαδικασία για τον σχεδιαστή του δικτύου, ο οποίος θα πρέπει να σχεδιάσει ένα δίκτυο, το οποίο όχι μόνο θα παρέχει επαρκή ραδιοκάλυψη αλλά και εξασφαλισμένη ποιότητα QoS στην παροχή ραδιοπόρων και υπηρεσιών, έτσι ώστε να διεκπεραιώνονται οι κλήσεις, χωρίς αποτυχημένες προσπάθειες και καθυστερήσεις. Η μελέτη για την επάρκεια της ραδιοκάλυψης, μπορεί να επιτευχθεί με ειδικά εργαλεία και λογισμικό (radio planning tools) που σε συνεργασία με ψηφιακούς χάρτες, δίνουν την δυνατότητα στον σχεδιαστή να τοποθετήσει τους σταθμούς βάσης και να προβλέψει εργαστηριακά την ραδιοκάλυψη, ακόμα και σε πολύπλοκα RF environments όπως π.χ πυκνοκατοικημένες πόλεις. Η πιο δύσκολη όμως εργασία είναι η διαστασιοποίηση του δικτύου. Δηλαδή η εργασία κατά την οποία γίνεται η ανάθεση και κατανομή των ραδιοδιαύλων σε κάθε σταθμό βάσης του δικτύου. Όπως είναι γνωστό η ραδιοπόροι είναι αρκετά πεπερασμένοι στα κυψελωτά δίκτυα, καθώς επίσης είναι και πανάκριβη η άδεια απόκτησης τους. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ο σχεδιαστής να είναι απόλυτα φειδωλός με την ανάθεση καναλιών ανά σταθμό βάσης, αλλά και υποχρεωμένος να αναχρησιμοποιεί τις ράδιο-συχνότητες αρκετά συχνά (frequency re-use), χωρίς όμως να δημιουργούνται ομοδιαυλικές παρεμβολές (co-channel interference) στο δίκτυο. Αρχικά, η ανάθεση γίνεται με κάποια εκτίμηση από το radio planning tool, καθώς και εμπειρικά από τον σχεδιαστή, βάση της τοποθεσίας και τον τύπο του σταθμού βάσης. Κατόπιν ακολουθεί προσεκτική ανάλυση των στοιχείων που προκύπτουν, κατά την λειτουργία του δικτύου. Έτσι από την ανάλυση των στατιστικών, αποφασίζεται αν θα πρέπει να γίνει πρόσθεση ή αφαίρεση ράδιο-διαύλων. Παρ' όλα αυτά και πάλι είναι τέτοια η φύση των δικτύων κινητών επικοινωνιών, που τότε δεν μπορείς να εγγυηθείς την απόλυτη παροχή τηλεπικοινωνιακών πόρων, σε αντίθεση με ένα σταθερό τηλεφωνικό δίκτυο που υπάρχει η πληροφορία, το πόσοι χρήστες αναμένονται ανά πάσα στιγμή, σε μια γεωγραφική περιοχή. Φυσικά αυτό δεν μπορεί να γίνει σε ένα δίκτυο κινητών επικοινωνιών όπου ο αριθμός των χρηστών γεωγραφικά μπορεί να αλλάξει δραματικά. π.χ περιοχές κοντά σε λιμάνια, γήπεδα, θέατρα κλπ. Επίσης ένα επιπρόσθετο χαρακτηριστικό είναι ότι τα νέας γενιάς δίκτυα κινητών επικοινωνιών υποστηρίζουν ένα μεγάλο πλήθος υπηρεσιών, άλλες υποστηριζόμενες πάνω από υπηρεσίες μεταγωγής κυκλώματος CS (circuit switch) και άλλες πάνω μεταγωγή πακέτου (packet switch) PS. Αυτό οδήγησε στην εισαγωγή υπηρεσιών που έχουν μεγάλη απαίτηση σε bandwidth όπως η αποστολή και λήψη MMS, mobile TV, videoconference κλπ. Αυτή η ραγδαία εισαγωγή νέων υπηρεσιών δεν έχει ακολουθηθεί από ανάλογη μελέτη, ανάπτυξη και έρευνα στο τομέα της διαχείρισης των ραδιοπόρων και γενικά ευφυών και γρήγορων μηχανισμών - τεχνικών επίλυσης της συμφόρησης σε αυτά τα δίκτυα. Αυτή η έλλειψη τεχνικών και γενικά μηχανισμών αποσυμφόρησης από τα σύγχρονα δίκτυα, οδηγεί στο να παρατηρούνται αρκετά συχνά προβλήματα στα δίκτυα κατά τις ώρες αιχμής, σε περιπτώσεις κοινωνικών - αθλητικών εκδηλώσεων αλλά και σε περιπτώσεις καταστροφών (π.χ. σεισμοί).

Αυτό όπως είναι φυσικό μειώνει κατακόρυφα την ποιότητα των υπηρεσιών που παρέχονται QoS στους χρήστες, μ' αποτέλεσμα οι εταιρίες παροχής κινητών επικοινωνιών να γίνονται αποδέκτες αρνητικών σχολίων από τους πελάτες τους. Επίσης, οι καταστάσεις συμφόρησης των δικτύων έχει και ως αποτέλεσμα την κακή λειτουργία και γενικά αποσταθεροποίηση του δικτύου, με σημαντικά αρνητικές επιπτώσεις, τόσο στην αποδοτικότητα (utilization) του δικτύου καθώς και σε πολύ μεγάλες απώλειες εσόδων προς στις εταιρίες παρόχους.

Τα σύγχρονα δίκτυα έχουν κάποιους μηχανισμούς και τεχνικές για τη αντιμετώπιση καταστάσεων συμφόρησης, που όμως δεν είναι δυναμικές και θέλουν αρκετή βελτιστοποίηση για να επιφέρουν τα αναμενόμενα. Αυτό που όμως που είναι αναγκαίο είναι η δημιουργία νέων τεχνικών και δυναμικών μηχανισμών που σε συνεργασία με κάποια πλατφόρμα συνεχής παρακολούθησης του δικτύου, να εφαρμόζει δυναμικά τεχνικές έτσι ώστε να επιλύονται προβλήματα συμφόρησης. Η κατάσταση του δικτύου μπορεί να εκφραστεί από συγκεκριμένους δείκτες απόδοσης KPIs (Key Performance Indicators)

1.1 Αντικείμενο της διδακτορικής διατριβής

Αντικείμενο αυτής διδακτορικής διατριβής, είναι η επινόηση, μελέτη και βελτιστοποίηση τεχνικών αποσυμφόρησης σε κυψελωτά δίκτυα 2^{ης}, 3^{ης} καθώς για τα ασύρματα τοπικά δίκτυα IEEE 802.11x γνωστά και σαν WLANs. Έτσι, γίνονται καινοτόμες προτάσεις για την εισαγωγή νέων μηχανισμών δυναμικής αυξομείωσης των περιοχών κυριαρχίας για την επίτευξη ομοιόμορφης κατανομής των χρηστών στο δίκτυο και αποφυγής καταστάσεων συμφόρησης που μπορεί να εφαρμοστεί σε όλα τα δίκτυα κινητών επικοινωνιών. Όσον αφορά τις τεχνικές αποσυμφόρησης, εξετάζονται και συγκρίνονται πειραματικά σε εργαστηριακά δίκτυα, για την αποτελεσματικότητά τους, καθώς και την αλληλεπίδραση τους με άλλα στοιχεία των συστημάτων. Συγκεκριμένα μελετώνται οι εξής μέθοδοι, οι οποίες αρχικά περιγράφονται μόνο για τα δίκτυα GSM 900 και DCS 1800, ενώ αργότερα θα αναπτυχθούν και για τα δίκτυα EDGE και 3 γενιάς UMTS καθώς και για τα ασύρματα τοπικά δίκτυα, όπου υπάρχουν αντίστοιχοι μηχανισμοί:

- Κράτηση φάσματος
- Dynamic cell resizing with dynamic alteration of cell reselection criteria (GSM 900 – DCS1800, UMTS, WLAN)
- Dynamic cell resizing with the minimum Rx Level modification (GSM 900 – DCS1800, UMTS)
- Τροποποίηση της λίστας των BCCH συχνοτήτων, εξαιτίας δικτυακής συμφόρησης (GSM 900 – DCS1800, UMTS, WLAN)
- Χρήση πολλαπλών BCCH πομποδεκτών (GSM 900 – DCS1800, UMTS)
- Μηχανισμός αποφυγής και πρόληψης συμφόρησης σε δίκτυα (GSM 900 – DCS1800, UMTS, WLAN)

Πρέπει να σημειωθεί, ότι οι παραπάνω τεχνικές αποσυμφόρησης δεν αναφέρονται σε προηγούμενη βιβλιογραφία και αναπτύχθηκαν αποκλειστικά κατά τη διάρκεια αυτής της διδακτορικής διατριβής.

2 GSM

2.1 Εισαγωγικά

Τα αρχικά GSM ποια σημαίνουν **Global System for Mobile Telecommunications**.

Το Ευρωπαϊκό τηλεπικοινωνιακό συμβούλιο (CEPT), άρχισε μελέτη, με την ονομασία "Group Special Mobile" GSM, με σκοπό την δημιουργία ενός πανευρωπαϊκού συστήματος κινητής τηλεφωνίας. Το σύστημα αυτό είχε σαν βασικές προϋποθέσεις τις εξής:

- Υποκειμενικά καλή ποιότητα ήχου, ίδια με αυτή ενός σταθερού ISDN
- Μικρό κόστος σε τεμαχικά και υπηρεσίες,
- Υποστήριξη διεθνούς λειτουργίας
- Υποστήριξη φορητών τεμαχικών χεριού
- Υποστήριξη νέων πρωτότυπων υπηρεσιών
- Συμβατότητα με το ISDN

2.2 Παρεχόμενες υπηρεσίες

Από την αρχή, τα σχέδια του GSM προέβλεπαν συμβατότητα με το ISDN στις υπηρεσίες και στα πρότυπα. Δυστυχώς, η ραδιοεπικοινωνίες, επέβαλαν κάποιους περιορισμούς αφού η ταχύτητα του ISDN των 64Kbps δεν μπορούσε να γίνει εφικτή.

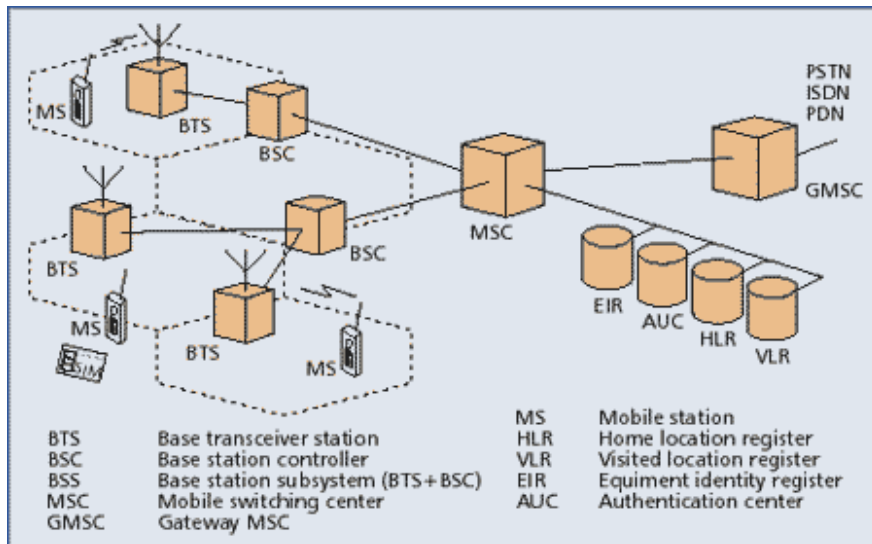
Η ψηφιακή δομή του GSM επιτρέπει την μεταφορά δεδομένων, τόσο σε σύγχρονη όσο και σε ασύγχρονη μορφή, τα οποία μπορούν να μεταφερθούν από και προς ένα ISDN τεμαχικό. Τα δεδομένα, μπορούν να μεταφερθούν χωρίς να γίνονται αντιληπτά - χωρίς εγγύηση για την ακέραιη μεταφορά τους- και κανονικά, με εγγύηση για την σωστή μεταφορά τους, μέσω μια Αυτόματης Διαδικασίας Επανάληψης (ARQ) σε περίπτωση λάθους. Οι ταχύτητες που υποστηρίζει το GSM, είναι 300, 600, 1200, 2400, 9600 και 14400 bps.

Η κύρια υπηρεσία του GSM είναι η τηλεφωνία. Επίσης υπάρχει δυνατότητα, επείγουσας κλήσης, στην οποία συνδέεται σε μια υπηρεσία εκτάκτων αναγκών, με την κλήση ενός τριψήφιου αριθμού (112). Η κλήση προς σε αυτό το νούμερο μπορεί να γίνει και προς δίκτυο άλλου παρόχου αν στην περιοχή δεν υπάρχει ραδιοκάλυψη από το οικείο δίκτυο. Η κλήση προς αυτό το νούμερο μπορεί να γίνει ακόμα και από κινητά τεμαχικά χωρίς κάρτα SIM. Επίσης υπάρχει δυνατότητας μεταφοράς Fax (Group 3), με την χρήση ειδικού προσαρμογέα. Μια ειδική υπηρεσία του GSM, είναι το SMS (υπηρεσία γραπτών μηνυμάτων), μια υπηρεσία διπλής κατευθύνσεως για την αποστολή και λήψη μικρών αλφαριθμητικών χαρακτήρων (μέχρι 160 bytes για χαρακτήρες 7 bit ή 140 bytes για χαρακτήρες 8 bit) με τρόπο αποθήκευσης-προώθησης. Το SMS, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν υπηρεσία της κυψέλης, για αυτόματες διευρυμένες ή ομαδικές αποστολές μηνυμάτων, όπως κίνηση στους δρόμους ή νέα. Τα μηνύματα αποθηκεύονται στην κάρτα SIM, για μετέπειτα ανάγνωση.

Τέλος υπάρχουν βοηθητικές υπηρεσίες, όπως αναγνώριση κλήσεων, προώθηση, αναμονή και φραγή κλήσεων, τηλεδιάσκεψη και άλλες.

2.3 Αρχιτεκτονική του συστήματος GSM

Το δίκτυο GSM συγκροτείται από πολλές λειτουργικές οντότητες, των οποίων οι λειτουργίες και διεπαφές είναι καθορισμένες. Παρακάτω Σχήμα 2-1, φαίνεται η δομή του δικτύου GSM και οι διάφορες οντότητες με τις διεπαφές τους.



Σχήμα 2-1: Αρχιτεκτονική δικτύου GSM

Το GSM μπορεί να διακριθεί σε τρία κύρια μέρη:

- Στο κινητό τερματικό MT (τηλέφωνο) που χρησιμοποιεί ο χρήστης,
- το υποσύστημα του σταθμού βάσης BSS (Base Station Subsystem), που ελέγχει την ραδιοζεύξη με το κινητό τερματικό MT, καθώς και την κινητικότητα σε χαμηλό επίπεδο και
- το υποσύστημα δικτύου NSS (Network Switching Subsystem), που το πιο βασικό του μέρος είναι το MSC (Mobile Switch Center) και το οποίο είναι υπεύθυνο για την μεταγωγή των κλήσεων και γενικά συνδέσεων των κινητών χρηστών προς άλλους κινητούς χρήστες ή χρήστες του σταθερού τηλεφωνικού δικτύου. Επίσης το MSC είναι υπεύθυνο και για την διαχείριση των λειτουργιών κινητικότητας, όπως είναι π.χ. ο εντοπισμός για την επίτευξη Mobile Terminating Call.

Επίσης μπορούμε να διακρίνουμε και τρεις κύριες διεπαφές μεταξύ των υποσυστημάτων.

- Στον ραδιοδιάλογο **Air Interface** μεταξύ κινητού τερματικού MT (Mobile Terminal) και σταθμού βάσης BTS (Base Transceiver Station).
- Στο **Abis Interface** μεταξύ σταθμού βάσης BTS και BSC (Base Station Controller)
- Στο **A Interface** μεταξύ BSC και MSC (Mobile Switching Center).

2.3.1 Κινητό Τερματικό (MT)

Το κινητό τερματικό αποτελείται από την συσκευή και μια έξυπνη κάρτα, την SIM (Subscriber Identity Module). Η κάρτα αυτή παρέχει την προσωπική κινητικότητα, έτσι ώστε ο χρήστης να έχει την δυνατότητα πρόσβασης, στις υπό συνδρομή υπηρεσίες άσχετα με την συσκευή που χρησιμοποιεί. Επίσης, μέσα στην SIM αποθηκεύονται: ο τηλεφωνικός κατάλογος του χρήστη, ο κατάλογος προτιμώμενων δικτύων για την περιαγωγή, καθώς και τα γραπτά μηνύματα. Η κάθε κινητή συσκευή έχει ένα μοναδικό διακριτικό, το IMEI (International Mobile Equipment Identity). Επίσης, η κάρτα SIM, έχει, ως στατική πληροφορία που αφορά

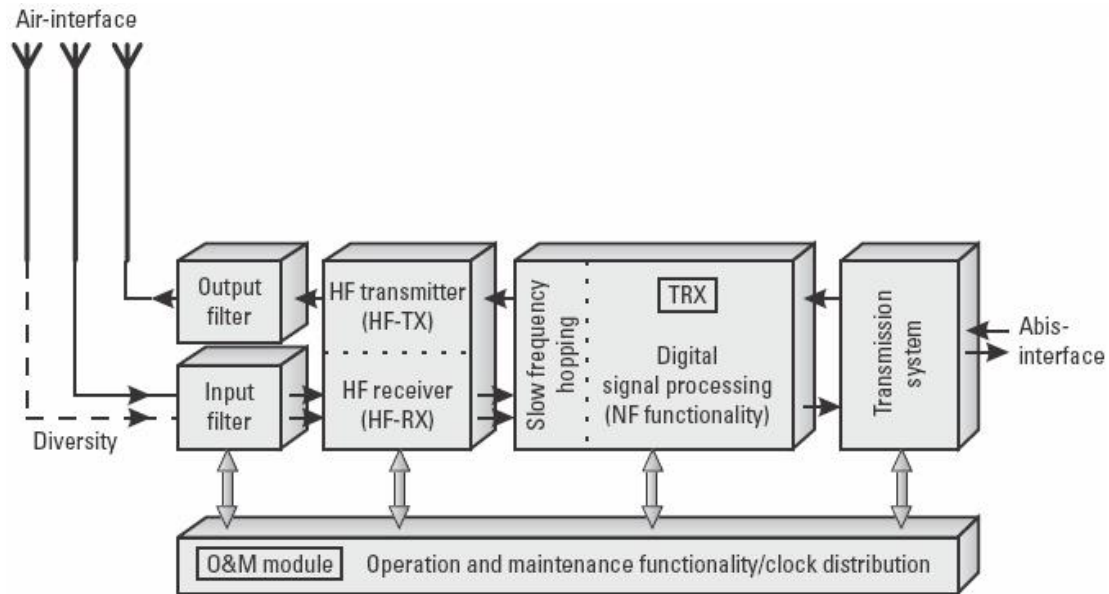
το δίκτυο και τον συνδρομητή, το IMSI (International Mobile Subscriber Identity), που χρησιμοποιείται για την ταυτοποίηση του χρήστη παγκοσμίως. Ακόμα, περιέχεται και ένα μυστικό κλειδί πιστοποίησης, το *ki*, που προστατεύει το χρήστη από υποκλοπές των συνομιλιών του με την κατάλληλη κρυπτογράφηση, καθώς και την προστασία από πρόσβαση στο δίκτυο άλλων ατόμων με χρέωση του νόμιμου χρήστη. Επίσης, στην SIM, υπάρχουν και πληροφορίες σχετικές με την συνδρομή των υπηρεσιών που παρέχονται, όπως είναι το SIM Toolkit, που δίνει εύκολη πρόσβαση σε εξειδικευμένες υπηρεσίες του δικτύου, π.χ. το SIM Toolkit My-Cosmos της Cosmote. Τονίζουμε ότι το IMEI είναι εντελώς ανεξάρτητο από το IMSI. Σπανίως, τα δίκτυα συσχετίζουν το IMEI με το IMSI για να αποτρέψουν κάποιες ακατάλληλες ή κλεμμένες συσκευές να χρησιμοποιηθούν και αυτό διότι η αγορά των κινητών συσκευών έχει ξεπεράσει κάθε όριο, με αποτέλεσμα ένα χρήστης να αλλάζει πολλές συσκευές που μερικές φορές είναι «άγνωστης προέλευσης». Τα στοιχεία που είναι αποθηκευμένα στη κάρτα SIM προστατεύονται από έναν προσωπικό κωδικό, το PIN (Personal Identity Number), έτσι ώστε να μην μπορεί να χρησιμοποιηθεί η κάρτα από μη εξουσιοδοτημένα άτομα, παρά μόνο από τον νόμιμο κάτοχο της. Πρέπει όμως να τονιστεί ότι για κανένα λόγο δεν πρέπει ένας χρήστης να αφήνει την κάρτα SIM στα χέρια άλλων, όπως μπορεί να γίνει π.χ. όταν αφήνει την κινητή του συσκευή στο service, αφού υπάρχουν συσκευές που «σπάνε» το PIN, έτσι ώστε να έχουν πλήρη πρόσβαση στα στοιχεία της κάρτας. Έτσι, μπορεί να δημιουργηθεί ένας κλώνος της κάρτας με όλα τα δυσάρεστα αποτελέσματα για τον χρήστη, π.χ. ανεπιθύμητες χρεώσεις. Φυσικά η διαχείριση κινητικότητας του MSC, στην πληθώρα των περιπτώσεων, μπορεί να αποτρέψει κάτι τέτοιο.

2.3.2 Υποσύστημα σταθμού βάσης (BSS)

Το υποσύστημα σταθμού βάσης BSS (Base Station Subsystem) αποτελείται από δυο μέρη, το Base Transceiver Station BTS και το Base Station Controller BSC. Αυτές οι δυο οντότητες του δικτύου επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω του τυποποιημένου Abis Interface, το οποίο επιτρέπει την επικοινωνία μεταξύ μηχανημάτων που ανήκουν σε διαφορετικούς κατασκευαστές. Δηλαδή, όλα τα διαθέσιμα BTS και BSC είναι συμβατά μεταξύ τους ως προς το Abis Interface.

2.3.2.1 Σταθμός Βάσης - BTS

Το BTS αποτελείται από τα TRX και τον combiner. Τα TRX, που στην ουσία είναι οι πομποδέκτες που επικοινωνούν με το κινητό τερματικό, υλοποιούν όλα τα πρωτόκολλα που διέπουν το Air Interface του GSM. Ο combiner είναι ένα παθητικό στοιχείο (μικροκυματικό πολύθυρο), που επιτρέπει την σύνδεση πολλών TRX σε μια κεραία. Δηλαδή το BTS προσφέρει την φυσική επικοινωνία του δικτύου με το κινητό τερματικό. Παρακάτω Σχήμα 2-2 φαίνεται το λειτουργικό διάγραμμα ενός BTS με ένα TRX. Σύμφωνα με την σύσταση του GSM, επιτρέπεται σε ένα BTS να φιλοξενούνται έως και 16 TRXs, αλλά στην πράξη χρησιμοποιούνται από 1 έως 4 σε sectorised BTS και από 1 έως 7 σε omni BTS.

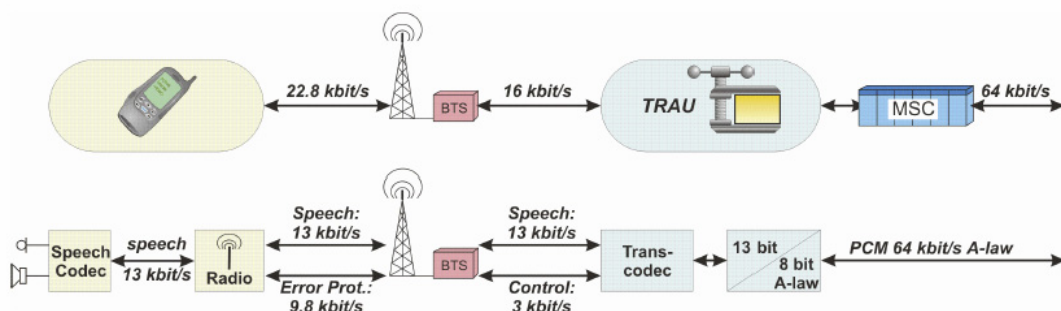


Σχήμα 2-2: BTS diagram

2.3.2.2 Ελεγκτής Σταθμού Βάσης - BSC

Ο ελεγκτής σταθμού βάσης έχει στον έλεγχο του ένα ή περισσότερα BTS με τα αντίστοιχα TRXs, στα οποία κρατά τον έλεγχο και τις ρυθμίσεις των ραδιοδιαύλων (αριθμό TCHs, PDCHs, SDCCHs), το σχήμα αναπήδησης της συχνότητας, τον έλεγχο των διαπομπών. Σε αυτόν τον ελεγκτή υπάρχουν όλες οι ρυθμίσεις των TRXs, που είναι αρμόδιο να εποπτεύει καθώς και τον έλεγχο του BCCH και των παραμέτρων που εκπέμπει. Επίσης σε αυτόν τον ελεγκτή υλοποιούνται όλες οι διαδικασίες ενεργοποίησης ανάθεσης καναλιών και διατήρησης της ραδιοζεύξης με υποστήριξη κινητικότητας, με την λειτουργία της διαπομπής και των παραμέτρων και μηχανισμών που την ενεργοποιούν. Επίσης το BSC ελέγχει και το μηχανισμό περιοδικής ενημέρωσης θέσης με τον timer T3212, ο οποίος ανακοινώνεται στο κινητά τερματικά από το BCCH.

Το TRAU αποτελεί μονάδα του GSM που υπάγεται και κείνη στο BSS, ανεξάρτητα αν συνήθως βρίσκεται πιο κοντά στο NSS. Ο σκοπός της μονάδας αυτής είναι να συμπιέζει και να αποσυμπιέζει τη φωνή μεταξύ του MS και του TRAU, οπότε είναι πολύ χρήσιμη στο να εξοικονομούμε πόρους ενσύρματου και ασύρματου δικτύου. Για αυτό συνήθως τοποθετείται μεταξύ του BSC και του MSC. Επίσης ευθύνεται για την ανίχνευση φωνής.



Σχήμα 2-3: TRAU topology

2.3.3 Υποσύστημα μεταγωγής δικτύου (NSS)

Το κεντρικό μέρος του υποσυστήματος μεταγωγής δικτύου NSS (Network Switching Subsystem) είναι το MSC (Mobile Switching Center), δηλαδή το κέντρο μεταγωγής κλήσεων. Η λειτουργία του είναι ακριβώς η ίδια με τους κανονικούς μεταγωγικούς κόμβους PSTN ή ISDN, αλλά και με επιπρόσθετες λειτουργίες για να μπορεί να εξυπηρετηθεί η κινητικότητα του χρήστη, όπως είναι η εγγραφή (registration), η πιστοποίηση (authentication), η ενημέρωση θέσης (location update), οι διαπομπές (handovers) και η δρομολόγηση των κλήσεων σε χρήστες που είναι σε περιαγωγή. Αυτές οι υπηρεσίες παρέχονται με την συνένωση του MSC και με άλλες λειτουργικές οντότητες, οι οποίες μαζί αποτελούν το υποσύστημα δικτύου. Έτσι το NSS αποτελείται από:

- MSC (Mobile Switching Center)
- HLR (Home Location Register)/Authentication Center (AuC)
- VLR (Visitor Location Register)
- EIR (Equipment Identity Register)

Το GMSC (Gateway MSC) παρέχει την σύνδεση του δικτύου κινητής τηλεφωνίας με άλλα εξωτερικά δίκτυα. Σημειώνουμε ότι η σηματοδοσία μεταξύ όλων των λειτουργικών οντοτήτων του υποσυστήματος δικτύου χρησιμοποιεί το σύστημα σηματοδοσίας 7, SS7 (Signaling System 7), το οποίο χρησιμοποιείται και στο ISDN και σχεδόν σε όλα τα δημόσια δίκτυα.

Ο οικείος καταχωρητής θέσης HLR (Home Location Register) και ο καταχωρητής θέσης επισκεπτών VLR (Visitor Location Register), μαζί με το MSC, παρέχουν την δυνατότητα δρομολόγησης της κλήσης και την περιαγωγή των χρηστών σε δίκτυα ξένων χωρών. Συγκεκριμένα ο HLR περιέχει όλες τις διαχειριστικές πληροφορίες για κάθε συνδρομητή του δικτύου, καθώς και την θέση του. Η θέση του συνδρομητή αναφέρεται ως την διεύθυνση του αρμόδιου VLR που είναι εγγεγραμμένος ο χρήστης. Ο αριθμός των HLR σε ένα δίκτυο εξαρτάται από την αρχιτεκτονική που έχει θεσπίσει ο διαχειριστής του δικτύου. Έτσι μπορεί να έχει ένα HLR ή πολλούς HLR, δηλαδή κατανεμημένη αρχιτεκτονική.

Οι πληροφορίες που περιέχονται στους καταχωρητές HLR και VLR παρουσιάζουν μικρές διαφορές μεταξύ τους. Ειδικότερα:

Ο HLR περιέχει στατική και δυναμική πληροφορία σχετικά με τον χρήστη. Η στατική πληροφορία είναι:

- αριθμός κλήσης του κινητού συνδρομητή (Mobile Subscriber Number, MSN),
- η διεθνής ταυτότητα του συνδρομητή (International Mobile Subscriber Identity, IMSI),
- το κλειδί ελέγχου αυθεντικότητας ki,
- καθώς και συμπληρωματικές πληροφορίες, που αφορούν τις βασικές και τις συμπληρωματικές υπηρεσίες που περιλαμβάνονται στην συνδρομή κ.α.

Η δυναμική πληροφορία περιλαμβάνει:

- τις παραμέτρους ελέγχου αυθεντικότητας και κρυπτογράφησης (authentication & security data),
- τον αριθμό περιαγωγής του MT (Mobile Station Roaming Number, MSRN),
- την διεύθυνση του καταχωρητή VLR ή αντίστοιχα την ταυτότητα της LA,
- την κατάσταση του MT (ενεργοποιημένο ή απενεργοποιημένο),
- προσωρινές πληροφορίες σχετικές με τις υπηρεσίες που χρησιμοποιεί.

Δηλαδή ο HLR είναι μια τεράστια βάση δεδομένων στην οποία ο χρόνος πρόσβασης πρέπει να κρατηθεί όσο το δυνατό μικρότερος, διότι όσο πιο γρήγορη είναι η απόκριση από την βάση δεδομένων τόσο πιο γρήγορη είναι και η αποκατάσταση μιας τηλεφωνικής κλήσης. Ακόμα

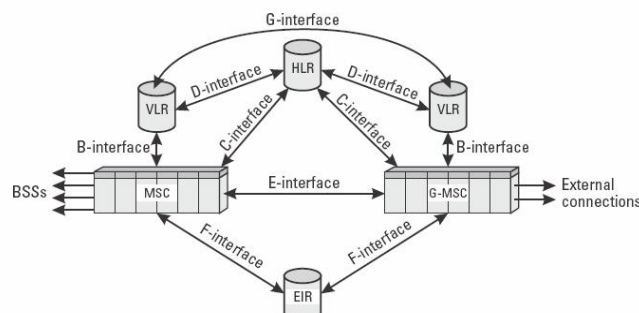
το κλειδί αυθεντικότητας κι περιέχεται όπως είπαμε μόνο στην SIM του συνδρομητή και στον HLR και δεν μεταδίδεται ποτέ σε καμία διεπαφή του συστήματος.

Έτσι κάθε συνδρομητής προσδιορίζεται σε έναν καθορισμένο HLR, ο οποίος δρα σαν ένα σταθερό σημείο αναφοράς για τον κάθε χρήστη. Όμως, για να αποσυμφορηθεί ο HLR από το αυξημένο φορτίο, εισήχθη ο VLR, έτσι ώστε να εξυπηρετούνται ορισμένες τοπικές λειτουργίες όπως εντοπισμός κ.α. Ο VLR περιέχει αντίστοιχη στατική και δυναμική πληροφορία με τον HLR, αλλά επιπλέον και την προσωρινή ταυτότητα του κινητού συνδρομητή (Temporary Mobile Subscriber Identity, TMSI) η οποία έχει πολύ μικρότερο μέγεθος από την IMSI και μπορεί να αναχρησιμοποιείται μεταξύ των VLR. Δηλαδή η τοπικότητα της ισχύει για κάθε VLR (BSC). Χρησιμοποιείται επειδή έχει μικρότερο μέγεθος από τον IMSI, μ' αποτέλεσμα εξοικονόμηση των δικτυακών πόρων σε εύρος και ταχύτητα γενικώς. Δηλαδή, όπως βλέπουμε, ο VLR έχει σχεδόν την ίδια δομή με το HLR, με την διαφορά ότι ο HLR είναι υπεύθυνος για πιο πολλές στατικές λειτουργίες, σε αντίθεση με τον VLR που έχει δυναμική διαχείριση της πληροφορίας του χρήστη. Έστω ένας χρήστης μετακινείται από περιοχή σε περιοχή. Τότε οι πληροφορίες για τον χρήστη περνάνε μεταξύ των VLR που είναι αρμόδιοι για τις περιοχές στις οποίες κινείται. Έτσι, οι πληροφορίες περνάνε από το παλιό VLR στο καινούργιο VLR καθώς ο χρήστης αλλάζει περιοχή και VLR. Δηλαδή, ο παλιός VLR διαπέμπει όλες τις πληροφορίες για τον συγκεκριμένο χρήστη στον καινούργιο. Υπάρχουν περιπτώσεις που ο νέος VLR κάνει ερώτηση στον HLR για συμπληρωματικές πληροφορίες. Αμέσως έρχεται ένα ερώτημα: ο HLR είναι υπεύθυνος για τους χρήστες που βρίσκονται στην γεωγραφική περιοχή του; Η απάντηση είναι όχι, διότι ακόμα και αν ένας χρήστης, που είναι εγγεγραμμένος στον HLR, βρίσκεται στην οικία περιοχή του, όλες οι δυναμικές πληροφορίες διαχειρίζονται από τον αρμόδιο VLR. Δηλαδή η έννοια περιοχή δεν έχει νόημα για τον HLR σε αντίθεση με τον VLR. Έτσι τυπικά, αλλά όχι απαραίτητα ένας VLR συνδέεται με ένα MSC. Τα στάνταρτ του GSM επιτρέπουν την σύνδεση ενός VLR με πολλά MSCs. Το AuC χρησιμοποιείται για σκοπούς ασφαλείας. Παρέχει παραμέτρους απαραίτητες για τον έλεγχο αυθεντικότητας και κρυπτογράφησης και συγκεκριμένα ένα μυστικό κλειδί για κάθε συνδρομητή. Συνήθως το AuC κατασκευάζεται ως εσωτερικό στοιχείο του HLR.

Το EIR επίσης χρησιμοποιείται για λόγους ασφαλείας. Καταχωρεί όλα τα τερματικά που διακρίνονται μέσω ενός μοναδικού αριθμού, τον IMEI (International Mobile Equipment Identity) σε τρεις κατηγορίες:

- White List: το τερματικό είναι ελεύθερο να συνδεθεί με το δίκτυο.
- Grey List: το τερματικό είναι υπό παρακολούθηση από το δίκτυο για παρουσίαση πιθανών προβλημάτων.
- Black List: το τερματικό είτε έχει καταγγελθεί ότι είναι κλεμμένο, είτε δεν είναι εγκεκριμένο, οπότε απαγορεύεται να συνδεθεί στο δίκτυο.

Στο παρακάτω Σχήμα 2-4 μπορούμε να δούμε συνοπτικά την τοπολογία HLR, VLR και τις διεπαφές με άλλες οντότητες του GSM δικτύου.



Σχήμα 2-4: Authentication - Authorization GSM topology

2.4 Air Interface

2.4.1 Ραδιοφάσμα

Η διεθνής ένωση τηλεπικοινωνιών ITU-T, η οποία διαχειρίζεται διεθνώς την ανάθεση του ραδιοφάσματος ανάλογα με τη χρήση, προσδιόρισε το ραδιοφάσμα των 890 – 915 MHz για την uplink κατεύθυνση, δηλαδή από το MT προς το BTS και των 935 – 960 MHz για την downlink κατεύθυνση, δηλαδή από το BTS προς το MT. Το παραπάνω φάσμα δόθηκε για την Ευρώπη μόνο, αρχικά, αλλά αργότερα και σε άλλες χώρες εκτός των ΗΠΑ. Αργότερα, δημιουργήθηκε το DCS 1800 (Digital Cellular System) από την ETSI ως προέκταση του GSM, στην ουσία είναι ακριβώς το ίδιο σύστημα με το GSM αλλά στην συχνότητα των 1800 MHz, σε αντίθεση με το GSM που είναι στα 900 MHz. Γι' αυτό ονομάστηκε και από πολλούς GSM 1800. Για αυτό το σύστημα δόθηκε ραδιοφάσμα πολύ μεγαλύτερο από ότι στο GSM, προκειμένου να αυξηθεί η χωρητικότητα του. Έτσι, για την uplink σύνδεση δόθηκε η περιοχή των 1710 – 1785 MHz και για την downlink η περιοχή των 1805 – 1880 MHz. Το 2000 δόθηκαν αλλά 10 MHz επιπλέον στην μάντα των 900 MHz. Έτσι το e-GSM δουλεύει από τους 880-890 MHz στο uplink 925-935 MHz στο downlink

Επειδή η μάντα αυτή είναι μικρή για να χρησιμοποιηθεί από όλους τους χρήστες του GSM ταυτόχρονα, έπρεπε να βρεθεί κάποιος τρόπος ώστε να διαιρεθεί το εύρος τις, σε όσους περισσότερους χρήστες γίνεται. Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε από το GSM είναι ένας συνδυασμός διαίρεσης χρόνου και συχνοτήτων - πολλαπλής πρόσβασης. (Time and Frequency Division - Multiple Access TDMA/FDMA). Το FDMA χωρίζει τις συχνότητες των 25 MHz σε 124 συχνότητες των 200KHz. Μια ή παραπάνω από τις συχνότητες των 200 KHz, δίνονται σε κάθε σταθμό οι οποίες και αυτές διαιρούνται 8 φορές με τον χρόνο. 1 μέρος χρόνου χρησιμοποιείται για την μετάδοση από το κινητό και ένα για την λήψη.

Κάθε ομάδα 8 μονάδων χρόνου, καλείται πλαίσιο TDMA και μεταδίδεται κάθε 4,615 ms. Τα πλαίσια TDMA με την σειρά τους ομαδοποιούνται σε Multiframe, ώστε να μπορούν να μεταφέρουν σήματα ελέγχου. Υπάρχουν δύο είδη Multiframe τα οποία περιέχουν 26 ή 51 TDMA frames. Το multiframe των 26 καναλιών περιέχει 24 κανάλια κίνησης (TCH) και δύο αργά κανάλια ελέγχου (SACCH) τα οποία ελέγχουν την κάθε κλήση που βρίσκεται σε εξέλιξη. Το SACCH στο 12 frame περιέχει 8 κανάλια, ένα για την κάθε μια από τις 8 συνδέσεις που μεταφέρονται από το TCH. Το SACCH στο 25 frame, δεν χρησιμοποιείται ακόμη, αλλά θα ελέγχει άλλα 8 κανάλια στο μέλλον. Επίσης υπάρχουν τα γρήγορα κανάλια ελέγχου (FACCH) τα οποία λειτουργούν με την χρήση μονάδων χρόνου από κάποιο κανάλι κίνησης.

Εκτός από τα αργά και τα γρήγορα κανάλια ελέγχου, υπάρχουν και άλλα κανάλια ελέγχου τα οποία υλοποιούνται στην μονάδα χρόνου, σε καθορισμένα πλαίσια TDMA , στα multiframe των 51 πλαισίων.

Τα κανάλια ελέγχου είναι:

Κανάλι Ελέγχου Εκπομπής	BCCH	Μεταδίδει συνέχεια πληροφορίες στο κινητό όπως την ταυτότητα του σταθμού, διανομή - αλλαγή συχνοτήτων, λίστα γειτονικών σταθμών.
Αυτόνομο Κανάλι Ελέγχου	SDCCH	Χρησιμοποιείται για την καταχώρηση, πιστοποίηση, ρυθμίσεις κλήσεων και για την ενημέρωση θέσης. Υλοποιείται σε μια μονάδα χρόνου, καθορισμένη από την εταιρία μαζί με το SACCH.
Κοινό Κανάλι Ελέγχου	CCCH	Αποτελείται από τρία κανάλια ελέγχου και χρησιμοποιείται για την αναγνώριση προορισμού και ειδοποίηση κλήσεως.
Κανάλια Τυχαίας πρόσβασης	RACH	Κανάλι για αίτηση πρόσβασης στο δίκτυο
Κανάλι Αναζήτησης κλήσεως	PCH	Χρησιμοποιείται για την ειδοποίηση του κινητού, εισερχόμενης κλήσης.
Κανάλι εκχώρησης πρόσβασης	AGCH	Χρησιμοποιείται για να προσδιοριστεί ποιό από τα διαθέσιμα SDCCH, θα χρησιμοποιηθεί, μετά από την αίτηση του RACH

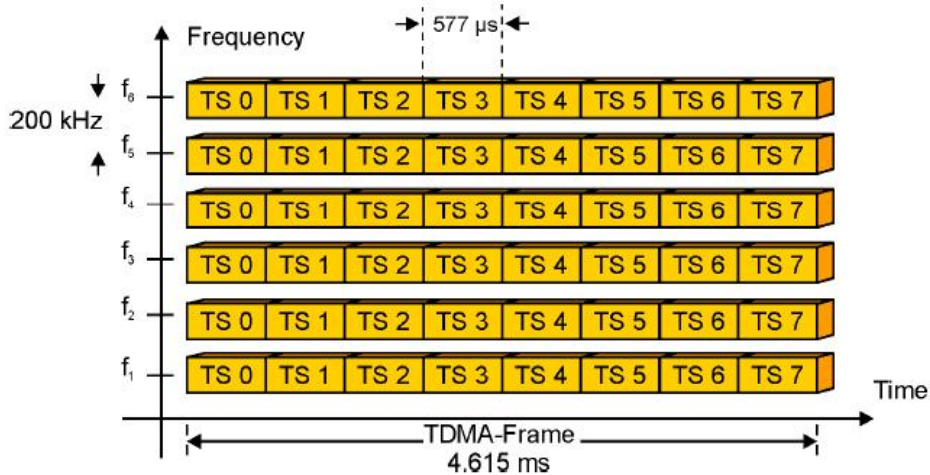
2.4.2 Φυσικά κανάλια

2.4.2.1 Πολλαπλή πρόσβαση TDMA/FDMA

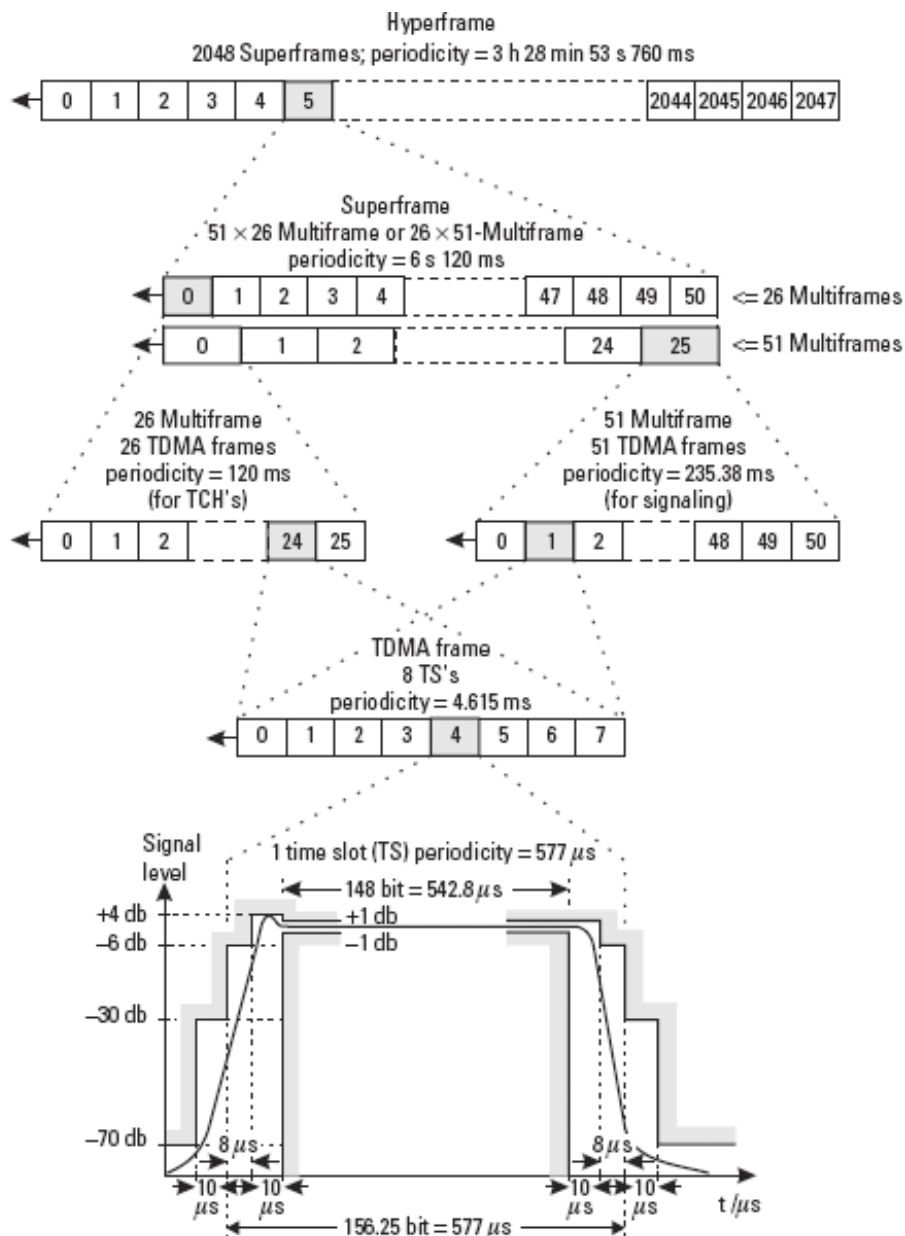
Λόγω του περιορισμένου φάσματος και της ανάγκης χρησιμοποίησής του από πολλούς χρήστες, γεννήθηκε η ανάγκη να δημιουργηθεί μια μέθοδος που να δίνει την δυνατότητα της πρόσβασης σε πολλούς χρήστες. Έτσι υιοθετήθηκε η υβριδική μέθοδος πολλαπλής πρόσβασης TDMA/FDMA. Το FDMA (Frequency Division Multiple Access) συνίσταται στον χωρισμό του ραδιοφάσματος σε διαύλους εύρους 200 KHz. Έτσι, για το GSM έχουμε 124 διαύλους και για το DCS 1800 έχουμε 374 διαύλους. Μια ή περισσότερες συχνότητες δίνονται σε ένα BTS, ανάλογα τον αριθμό των TRXs που χρησιμοποιούνται. Το TDMA (Time Division Multiple Access) συνίσταται στην διαίρεση του διαύλου εύρους 200 KHz σε 8 χρονοθυρίδες RTSLs (Radio TimeSlots), διάρκειας 15/26 ms, δηλ. 0,577 ms και καλείται burst period.

2.4.2.2 Ιεραρχία πλαισίων (frame hierarchy)

Στο GSM σε κάθε TDMA frame τοποθετείται ένας αριθμός, ο οποίος επαναλαμβάνεται περιοδικά κάθε 3 ώρες, 28 λεπτά, 53 δευτερόλεπτα και 760 μικροδευτερόλεπτα. Αυτή η περίοδος αποκαλείται hyperframe. Τα multiframe και superframe είναι επίπεδα ιεραρχίας μεταξύ TDMA frame και hyperframe. Ακολουθεί τα Σχήματα 2-5 & 2-6 με όλα τα επίπεδα ιεραρχίας.



Σχήμα 2-5: Δομή του TDMA



Σχήμα 2-6: Επίπεδα ιεραρχίας TDMA frame και hyperframe

Υπάρχουν δύο διαφορετικά είδη multiframe με διαφορετικό μήκος. Το 26-multiframe, το οποίο περιέχει 26 TDMA frames, με διάρκεια 120 ms και μεταφέρει μόνο κανάλια κίνησης (TCH). Η άλλη μορφή είναι το 51-multiframe, το οποίο περιέχει 51 TDMA frames, με συνολική διάρκεια 235,8 ms και μεταφέρει αποκλειστικά κανάλια σηματοδότησης. Κάθε superframe περιέχει είτε 26 51-multiframe είτε 51-26 multiframe. Η ιεράρχηση αυτή γίνεται για λόγους συγχρονισμού μεταξύ BTS και MS, για τη σωστή τοποθέτηση των καναλιών, αλλά και για την κρυπτογράφηση. Κάθε BTS εκπέμπει τον αριθμό του τρέχοντος frame μέσα από το κανάλι συγχρονισμού (SCH).

2.4.3 Λογικά κανάλια και διαδικασία πραγματοποίηση κλήσης

Σε αυτό το υποκεφάλαιο θα περιγράψουμε την διαδικασία πραγματοποίησης μιας κλήσης call set up sequence, περιγράφοντας τα λογικά κανάλια αλλά και τον ελάχιστο χρόνο (ιδανικός χρόνος χωρίς blocking και retries) που καταλαμβάνεται από κάθε λογικό κανάλι κατά την διαδικασία εγκαταστάσεις κλήσεις call set up. Αυτό θα βοηθήσει στην καλύτερη κατανόηση κάποιων τεχνικών αποσυμφόρησης.

Για να γίνουν τα παρακάτω πιο κατανοητά θα πρέπει να είναι γνωστά τα παρακάτω θεμελιώδη στοιχεία.

Ο ελάχιστος χρόνος κατάληψης ενός λογικού καναλιού είναι TDMA frame δηλαδή 4.615 ms. Έτσι αυτός είναι ο ελάχιστος χρόνος για ένα επιτυχές RACH access. Διότι όπως φαίνεται στο παρακάτω Σχήματα 2-8 & 2-9, όπου περιγράφεται με λεπτομέρεια το call set up sequence, χρειαζόμαστε μόνο ένα RACH (4.615 ms).

Επίσης ο ελάχιστος χρόνος για το κανάλι σηματοδότησης SDCCH είναι τα 26 TDMA frames (120 ms), διότι το MT θα πρέπει να περιμένει αυτό το χρονικό διάστημα για να ακούσει το αντίστοιχο SACCH του SDCCH Σχήματα 2-8 και 2-9 που περιέχει πολύ χρήσιμες πληροφορίες, για θέματα συγχρονισμού (Time advance) και ελέγχου ισχύος (Power Control). Ακόμα ένα λογικό κανάλι SDCCH αποτελείται από 4 TDMA frame (Block). Για κάθε AGCH και PCH χρειάζονται $4 \cdot 4.615 = 18.46$ ms

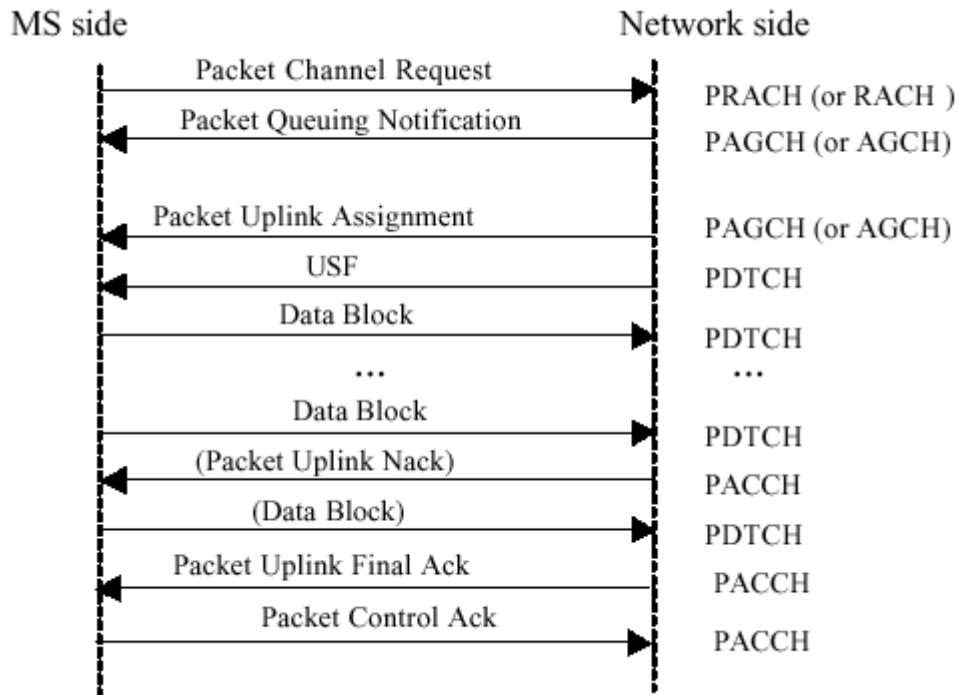
Έτσι, έχοντας αυτές τις πληροφορίες μπορούμε να υπολογίσουμε το χρόνο που χρειάζεται ένα call set up κάτω από ιδανικές συνθήκες. Δηλαδή συνθήκες στις οποίες όλα τα ενδιάμεσα στάδια ανάθεσης Logical channel ήταν επιτυχής.

Σύμφωνα με το Σχήμα 2-8 & 2-9 θέλουμε 4.615 ms για το RACH, 18.46 ms για το AGCH. Ακόμα θέλουμε $8 \cdot 120$ ms για τα SDCCH. Μετά έχουμε τα FACCH που όμως είναι στα TCHs. Άρα, έχουμε ως ιδανικό χρόνο για ένα MOC τα 983.075 ms. Αυτός ο χρόνος ίσως μας φαίνεται πολύ χαμηλός σε σχέση με αυτό που αντιμετωπίζουμε καθημερινά. Δεν πρέπει να ξεχνάμε ότι έχουμε πολλά retransmissions στα logical channels λόγω blocking αλλά και radio interferences.

Για MTC δεν είναι σωστό να πούμε ότι το ιδανικό MTC διαρκεί $983.075 + 18.46$ ms διότι, ο χρόνος απόκρισης του κινητού (RACH) στο μήνυμα paging εξαρτάται από τις ρυθμίσεις του provider, όπως κάθε ποσά multiframe θα εκπέμπεται το paging για ένα συγκεκριμένο MSISDN.

Μια καλή προσέγγιση είναι ότι το MT ακούει το paging μετά από 52 TDMA frames δηλαδή 240 ms. Άρα για ένα ιδανικό MTC χρειαζόμαστε 240 ms επιπλέον, 1223.075 ms. Τέλος για το GPRS θα υπολογίσουμε το χρόνο που χρειάζεται για να αποστείλουμε ένα πακέτο 74 bytes. Διαλέγω αυτό το μέγεθος πακέτου διότι τόσα byte περιέχει ένα ping ICMP Echo των 32 byte. Σύμφωνα με το Σχήμα 2-8 & 2-9 και γνωρίζοντας ότι για CS2 κάθε data block μεταφέρει 114 bits καθαρής πληροφορίας, μπορούμε να υπολογίσουμε το χρόνο που χρειάζεται ένα τέτοιο πακέτο για να σταλεί.

Κατ' αρχήν 74 bytes χρειάζονται 6 data blocks. Άρα πάντα σύμφωνα με τα παραπάνω και το Σχήμα 9 έχουμε: 4.615 ms PRACH και $2 \cdot 18.46$ ms PAGCH, 4.615 ms για το USF,



Σχήμα 2-9: GPRS session sequence

Η χαρτογράφηση των υπό-καναλιών σε ένα frame περιγράφεται στα παρακάτω Σχήματα 2-10 & 2-11 και για τις δυο κατεύθυνσης downlink – uplink, αντίστοιχα.

FN	TS 0	TS 1	FN	TS 2	TS 3 - 6	TS 7
0	FCCH	SDCCH 0	0	TCH		TCH
1	SCH	SDCCH 0	1	TCH		TCH
2	BCCH 1	SDCCH 0	2	TCH		TCH
3	BCCH 2	SDCCH 0	3	TCH		TCH
4	BCCH 3	SDCCH 1	4	TCH		TCH
5	BCCH 4	SDCCH 1	5	TCH		TCH
6	AGCH/PCH	SDCCH 1	6	TCH		TCH
7	AGCH/PCH	SDCCH 1	7	TCH	2	TCH
8	AGCH/PCH	SDCCH 2	8	TCH	6	TCH
9	AGCH/PCH	SDCCH 2	9	TCH		TCH
10	FCCH	SDCCH 2	10	TCH		TCH
11	SCH	SDCCH 2	11	TCH		TCH
12	AGCH/PCH	SDCCH 3	12	SACCH		SACCH
13	AGCH/PCH	SDCCH 3	13	TCH		TCH
14	AGCH/PCH	SDCCH 3	14	TCH		TCH
15	AGCH/PCH	SDCCH 3	15	TCH		TCH
16	AGCH/PCH	SDCCH 4	16	TCH		TCH
17	AGCH/PCH	SDCCH 4	17	TCH		TCH
18	AGCH/PCH	SDCCH 4	18	TCH		TCH
19	AGCH/PCH	SDCCH 4	19	TCH		TCH
20	FCCH	SDCCH 5	20	TCH		TCH
21	SCH	SDCCH 5	21	TCH		TCH
22	SDCCH 0	SDCCH 5	22	TCH		TCH
23	SDCCH 0	SDCCH 5	23	TCH		TCH
24	SDCCH 0	SDCCH 6	24	TCH		TCH
25	SDCCH 0	SDCCH 6	25			
0	SDCCH 1	SDCCH 6	0	TCH		TCH
1	SDCCH 1	SDCCH 6	1	TCH		TCH
2	SDCCH 1	SDCCH 7	2	TCH		TCH
3	SDCCH 1	SDCCH 7	3	TCH		TCH
4	FCCH	SDCCH 7	4	TCH		TCH
5	SCH	SDCCH 7	5	TCH		TCH
6	CBCH	SACCH 0	6	TCH		TCH
7	CBCH	SACCH 0	7	TCH	2	TCH
8	CBCH	SACCH 0	8	TCH	6	TCH
9	CBCH	SACCH 0	9	TCH		TCH
10	SDCCH 3	SACCH 1	10	TCH		TCH
11	SDCCH 3	SACCH 1	11	TCH		TCH
12	SDCCH 3	SACCH 1	12	SACCH		SACCH
13	SDCCH 3	SACCH 1	13	TCH		TCH
14	FCCH	SACCH 2	14	TCH		TCH
15	SCH	SACCH 2	15	TCH		TCH
16	SACCH 0	SACCH 2	16	TCH		TCH
17	SACCH 0	SACCH 2	17	TCH		TCH
18	SACCH 0	SACCH 3	18	TCH		TCH
19	SACCH 0	SACCH 3	19	TCH		TCH
20	SACCH 1	SACCH 3	20	TCH		TCH
21	SACCH 1	SACCH 3	21	TCH		TCH
22	SACCH 1		22	TCH		TCH
23	SACCH 1		23	TCH		TCH
24			24	TCH		TCH
25			25			

Σχήμα 2-10: Χαρτογράφηση των υπό-καναλιών στο downlink

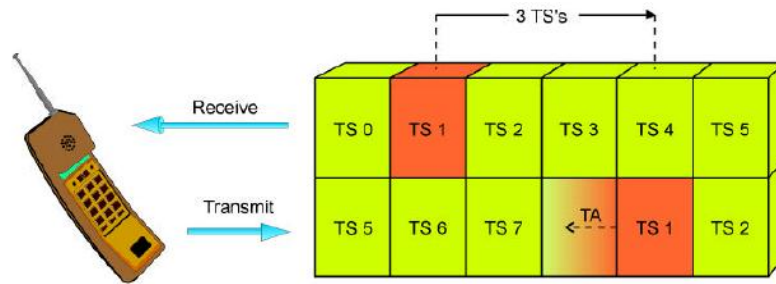
FN	TS 0	TS 1	FN	TS 2	TS 3 - 6	TS 7
0	SDCCH 3	SACCH 1	0	TCH		TCH
1	SDCCH 3	SACCH 1	1	TCH		TCH
2	SDCCH 3	SACCH 1	2	TCH		TCH
3	SDCCH 3	SACCH 1	3	TCH		TCH
4	RACH	SACCH 2	4	TCH		TCH
5	RACH	SACCH 2	5	TCH		TCH
6	SACCH 2	SACCH 2	6	TCH	2	TCH
7	SACCH 2	SACCH 2	7	TCH	6	TCH
8	SACCH 2	SACCH 3	8	TCH	M	TCH
9	SACCH 2	SACCH 3	9	TCH	u	TCH
10	SACCH 3	SACCH 3	10	TCH	l	TCH
11	SACCH 3	SACCH 3	11	TCH	t	TCH
12	SACCH 3		12	SACCH	i	SACCH
13	SACCH 3		13	TCH	r	TCH
14	RACH	SDCCH 0	14	TCH	a	TCH
15	RACH	SDCCH 0	15	TCH	m	TCH
16	RACH	SDCCH 0	16	TCH	e	TCH
17	RACH	SDCCH 0	17	TCH		TCH
18	RACH	SDCCH 0	18	TCH		TCH
19	RACH	SDCCH 1	19	TCH		TCH
20	RACH	SDCCH 1	20	TCH		TCH
21	RACH	SDCCH 1	21	TCH		TCH
22	RACH	SDCCH 1	22	TCH		TCH
23	RACH	SDCCH 2	23	TCH		TCH
24	RACH	SDCCH 2	24	TCH		TCH
25	RACH	SDCCH 2	25			
26	RACH	SDCCH 2	0	TCH		TCH
27	RACH	SDCCH 3	1	TCH		TCH
28	RACH	SDCCH 3	2	TCH		TCH
29	RACH	SDCCH 3	3	TCH		TCH
30	RACH	SDCCH 3	4	TCH		TCH
31	RACH	SDCCH 4	5	TCH		TCH
32	RACH	SDCCH 4	6	TCH	2	TCH
33	RACH	SDCCH 4	7	TCH	6	TCH
34	RACH	SDCCH 4	8	TCH	M	TCH
35	RACH	SDCCH 5	9	TCH	u	TCH
36	RACH	SDCCH 5	10	TCH	l	TCH
37	SDCCH 0	SDCCH 5	11	TCH	t	TCH
38	SDCCH 0	SDCCH 5	12	SACCH	i	SACCH
39	SDCCH 0	SDCCH 6	13	TCH	r	TCH
40	SDCCH 0	SDCCH 6	14	TCH	a	TCH
41	SDCCH 1	SDCCH 6	15	TCH	m	TCH
42	SDCCH 1	SDCCH 6	16	TCH	e	TCH
43	SDCCH 1	SDCCH 7	17	TCH		TCH
44	SDCCH 1	SDCCH 7	18	TCH		TCH
45	RACH	SDCCH 7	19	TCH		TCH
46	RACH	SDCCH 7	20	TCH		TCH
47		SACCH 0	21	TCH		TCH
48		SACCH 0	22	TCH		TCH
49		SACCH 0	23	TCH		TCH
50		SACCH 0	24	TCH		TCH
			25			

Σχήμα 2-11: Χαρτογράφηση των υπό-καναλιών στο uplink

2.4.3.1 Κανάλια κίνησης (TCH)

Ένα κανάλι κίνησης (Traffic CHannel – TCH) χρησιμοποιείται στις υπηρεσίες που βασίζονται στην μεταγωγή κυκλώματος CSD, όπως μεταφορά φωνής και δεδομένων. Ένα TCH καθορίζεται από ένα 26-frame multiframe ή από μια ομάδα 26 TDMA multiframe. Η διάρκεια ενός 26-frame multiframe είναι 120 ms και ισχύει το παρακάτω: 120 ms διαιρούμενα με 26 frames διαιρούμενα με 8 περιόδους burst ανά frame. Από τα 26 frame, τα 24 frame χρησιμοποιούνται για την μεταφορά της φωνής ή των δεδομένων, 1 frame χρησιμοποιείται για Slow Associated Control Channel ενώ 1 frame είναι προσωρινά αχρησιμοποίητο. Τα TCHs για την uplink και downlink σύνδεση, απέχουν στον χρόνο με το χρονικό διάστημα των 3 burst (3*577μs), Σχήμα 2-12. Αυτό γίνεται για καθαρά τεχνικούς λόγους, όπως π.χ. την δυνατότητα λειτουργίας των MT χωρίς την χρήση διπλέκτη (duplexer). Έτσι, το MT εκπέμπει 3 RTSLs

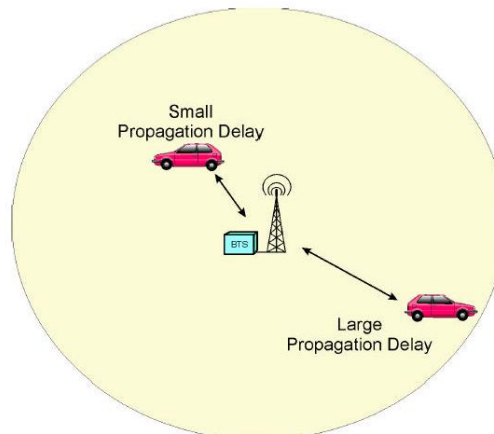
μετά το BTS. Ο χρόνος μεταξύ εκπομπής και λήψης χρησιμοποιείται από το MT για να κάνει τις απαραίτητες μετρήσεις των γειτονικών κυψελών.



Σχήμα 2-12: Διαφορά TS εκπομπής και λήψης

Στην ουσία ο χρόνος μεταξύ δυο διαδοχικών frame δεν επαρκεί, αλλά οι μετρήσεις γίνονται όταν έχουμε idle burst και DTX, οπότε υπάρχει επαρκής χρόνος για μετρήσεις.

Όμως, στην πραγματικότητα το MT δεν εκπέμπει ακριβώς 3 RTSLs μετά το BTS. Ο ακριβής χρόνος εκπομπής, μετά την λήψη, εξαρτάται από την απόσταση του MT από το BTS. Δηλαδή, λόγω της καθυστέρησης διάδοσης του σήματος, το MT πρέπει να εκπέμπει λίγο νωρίτερα από το καθορισμένο χρόνο των 3 RTSLs, ώστε το σήμα να φτάσει σωστά συγχρονισμένο στο BTS, Σχήμα 2-13. Αυτή η χρονική πρόοδος (Time Advance) υπολογίζεται από τον χρόνο που κάνει ένα burst να φτάσει στο BTS και τον χρόνο που περιμένει την απάντηση από το BTS, δηλαδή round trip propagation time delay.



Σχήμα 2-13: Propagation delays

Υπολογίζεται από το BTS σε πολλαπλάσια της διάρκειας του bit που χρησιμοποιείται στο GSM.

Έτσι:

$$dTA = TA \cdot c \cdot tbit$$

$$distance = \frac{TA \cdot 3 \cdot 10^8 \cdot 3,69 \cdot 10^{-6}}{2} = TA \cdot 554m$$

όπου

TA: time advance,

c: η ταχύτητα διάδοσης του σήματος,

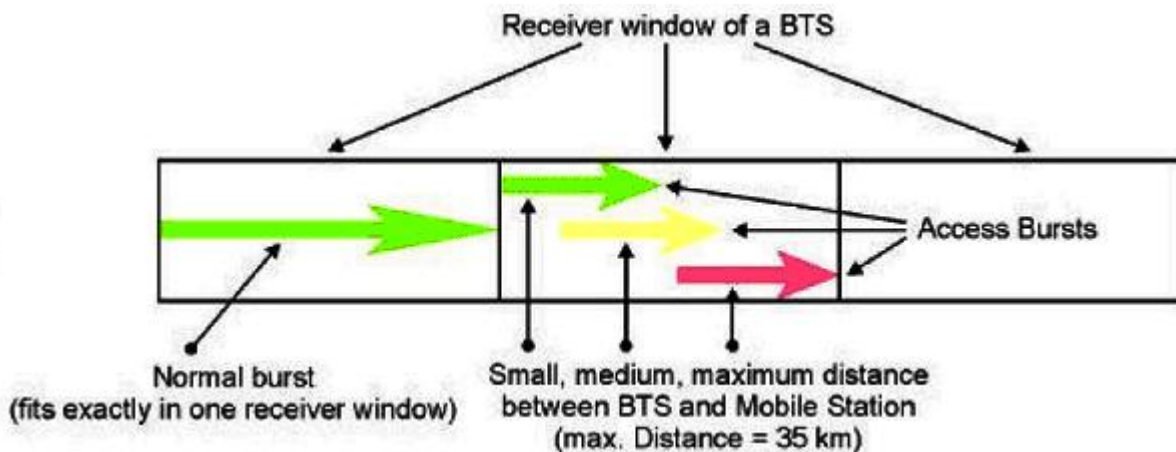
tbit: ο χρόνος του bit και

ο παράγοντας $\frac{1}{2}$ διότι ο χρόνος καθυστερήσεις έχει υπολογιστεί δυο φορές. Δηλαδή, ο χρόνος BTS-MS-BTS.

Έτσι, αν υποθέσουμε μέγιστο σφάλμα $\pm 0,5\text{bit}$ για τις μετρήσεις του TA, τότε έχουμε μέγιστο σφάλμα μέχρι 1Km, χωρίς την πολυδιαδρομική διάδοση που αυξάνει σημαντικά αυτήν την παράμετρο.

Η παράμετρος TA παίρνει τιμές από 0 – 63 (6 bit). Έτσι, βλέπουμε ότι στο GSM (DCS) η μέγιστη απόσταση που μπορεί να καλυφθεί είναι 35Km. Όμως, με τα extended cell της NO-KIA, στα οποία υπάρχει ένα χρονικό time advance offset κατά 0,577 μs , έχουμε κάλυψη έως και 70Km. Θεωρητικά η μέγιστη απόσταση που μπορεί να επιτευχθεί είναι τα 145 Km, αλλά θα πρέπει το MT να έχει πολύ γρήγορο πομποδέκτη ή και σχεδόν full duplex λειτουργία.

Στο Σχήμα 2-14 μπορούμε να δούμε το «χρονικό παράθυρο» στον TDMA δέκτη ενός BTS.



Σχήμα 2-14 : Receiver window of BTS

Τα κανάλια κίνησης χωρίζονται σε TCHs/Full Rate, TCHs/Enhanced Full Rate και TCHs/Half Rate. Στα δυο πρώτα υποστηρίζονται 8 TCHs ανά TRX, ενώ με το τρίτο 16 TCHs/HR/TRX. Τα TCHs/FR υποστηρίζουν ρυθμούς μετάδοσης έως και 14,4 Kbit/s. Στα TCHs/HR ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης είναι τα 7 Kbit/s.

2.4.3.2 Κανάλια ελέγχου (CCH)

Τα κανάλια ελέγχου είναι προσβάσιμα και χρησιμοποιούνται από τα MT όταν είναι σε idle mode ή dedicated mode. Idle mode εννοούμε την κατάσταση που το MT σε αναμονή ακούει μόνο το BCCH, ενώ dedicated mode εννοούμε την κατάσταση που το MT έχει σε εξέλιξη σύνδεση με το δίκτυο και χρησιμοποιεί κάποιο κανάλι κίνησης TCH. Αυτά τα κανάλια χρησιμοποιούνται από τα idle mode MT για να ανταλλάξουν πληροφορίες, έτσι ώστε τα MT να αλλάξουν σε dedicated mode. Τα MT που είναι ήδη σε dedicated mode παρακολουθούν τους γύρω σταθμούς βάσης για μελλοντικές διαπομπές ή συλλογή άλλων πληροφοριών. Τα κανάλια ελέγχου καθορίζονται σε ένα 51-frame multiframe. Ενώ τα MT που είναι σε dedicated mode και χρησιμοποιούν 26-frame multiframe TCH, μπορούν να χρησιμοποιούν και τα παραπάνω κανάλια.

Τα κανάλια ελέγχου διακρίνονται σε Broadcast Common Control Channel (BCCH), Common Control Channel (CCCH) και Dedicated Control Channel (DCCH).

Στα κοινά κανάλια ελέγχου εκπομπής περιλαμβάνονται (BCCH):

- Broadcast Control Channel (BCCH):

Αυτό το κανάλι εκπέμπει συνεχώς από το BTS, έτσι ώστε να το παρακολουθούν όλα τα MT που εξυπηρετούνται από αυτό. Είναι μονόδρομο κανάλι, δηλαδή υπάρχει μόνο στην downlink κατεύθυνση και παρέχει γενικές και ειδικές πληροφορίες στο MT σχετικές με το δίκτυο και το BTS όπως, όπως ταυτότητα του σταθμού βάσης, καθορισμός και δομή των διαθέσιμων καναλιών και υπηρεσιών, καθώς και το σχήμα αναπήδησης της συχνότητας, αν χρησιμοποιείται.

- Frequency Correction Channel (FCCH) και Synchronization Channel (SCH):

Αυτά τα κανάλια χρησιμοποιούνται για τον συγχρονισμό των MT στην δομή των RTSLs που χρησιμοποιεί η κυψέλη, καθορίζοντας τα όρια κάθε burst period, καθώς και την αρίθμηση των RTSLs. Κάθε κυψέλη στο GSM εκπέμπει ένα μόνο FCCH και ένα SCH, τα όποια εξ ορισμού εκπέμπονται στο RTSL 0 του broadcast TRX. Υπάρχουν μόνο στο downlink.

Στα κοινά κανάλια ελέγχου περιλαμβάνονται (CCCH):

- Random Access Channel (RACH):

Τα κανάλια τυχαίας πρόσβασης χρησιμοποιούνται από κοινού από όλα τα MT που θέλουν να κάνουν αίτηση πρόσβασης στο δίκτυο για παροχή κάποιας υπηρεσίας. Το σχήμα κοινής πρόσβασης που χρησιμοποιείται είναι το Slotted Aloha. Κάθε διαχειριστής δικτύου έχει την δυνατότητα να καθορίσει τον αριθμό των επανεκπομπών σε περιπτώσεις συγκρούσεων. Υπάρχει μόνο στο uplink.

- Paging Channel (PCH):

Χρησιμοποιούνται για την αναζήτηση του MT στο δίκτυο, έτσι ώστε να ειδοποιηθούν το MT για εισερχόμενες κλήσεις, SMS, κ.α. (downlink).

- Access Grant Channel (AGCH):

Χρησιμοποιούνται από το δίκτυο ώστε να κάνουν ανάθεση ενός SDCCH σε ένα MT για σηματοδότηση. (downlink).

Στα αποκλειστικά κανάλια ελέγχου περιλαμβάνονται (DCCH):

- Standalone Dedicated Control Channel (SDCCH):

Χρησιμοποιείται όταν δεν έχει αποδοθεί TCH. Μερικές λειτουργίες του είναι η εγγραφή του MT στο δίκτυο (registration), η πιστοποίηση της ταυτότητας (authentication), η ενημέρωση θέσης, κ.ά.

- Slow Associated Control Channel (SACCH):

Χρησιμοποιείται για ανταλλαγή σηματοδότησης όταν υπάρχει ενεργό TCH. Επαναλαμβάνεται κάθε 120 ms.

- Fast Associated Control Channel (FACCH):

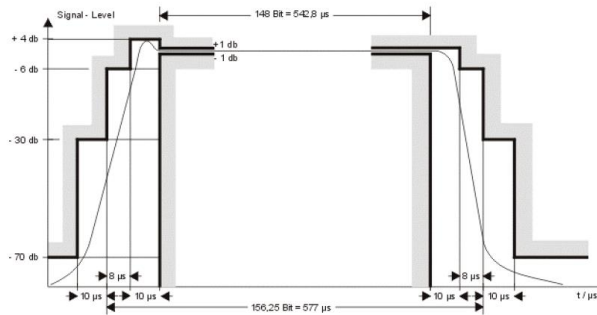
Χρησιμοποιείται για ανταλλαγή σηματοδότησης όταν υπάρχει ενεργό TCH. Επαναλαμβάνεται μόνο όταν υπάρχει ανάγκη αυξημένης ζήτησης σε κανάλια σηματοδότησης.

Τέλος υπάρχει και το Cell Broadcast Channel (CBCH) το οποίο χρησιμοποιείται για μετάδοση σύντομων μηνυμάτων SMS σε όλους του χρήστες που βρίσκονται στην περιοχή κάλυψης του BTS ή όλου του δικτύου.

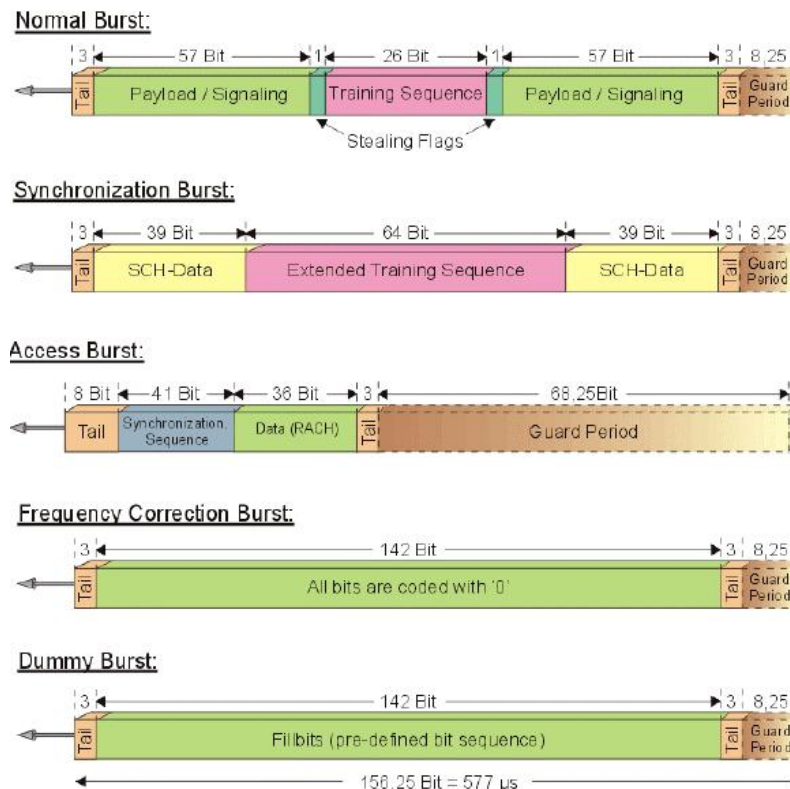
2.4.3.3 Δομή του burst

Υπάρχουν 4 είδη διαφορετικών burst, που χρησιμοποιούνται για την εκπομπή στο GSM, Σχήμα 2-15 και 2-16. Ο κανονικός τύπος burst χρησιμοποιείται για να μεταφέρει δεδομένα και σηματοδοσία. Έχει συνολικό μήκος 156,25 bit, από τα οποία 2×57 bit είναι πληροφορία, 26 bit είναι ακολουθία προετοιμασίας (training sequence), που χρησιμοποιείται για την ισοστάθμιση (equalization) του σήματος, 1 stealing bit που χρησιμοποιείται για FACCH, 3 tail bit στο κάθε τέλος και 8,25 guard bit. Έτσι τα 156,25 bit εκπέμπονται σε 577μs, δίνοντας έτσι μεικτό bitrate 270,833 Kbit/s.

Ο F type burst χρησιμοποιείται στο μονόδρομο (downlink) κανάλι FCCH, ενώ το S type burst στο επίσης μονόδρομο (downlink) κανάλι SCH. Αυτού του είδους τα burst έχουν ακριβώς την ίδια εξωτερική δομή (αριθμό bit) με τα κανονικά burst, μόνο που έχουν διαφορετική εσωτερική δομή, ώστε να επιτρέπουν το συγχρονισμό του συστήματος. Τα access burst έχουν διαφορετική δομή. Είναι μικρότερα, δηλαδή έχουν μικρότερο αριθμό bit και χρησιμοποιούνται στο μονόδρομο κανάλι (uplink) κοινής πρόσβασης RACH.



Σχήμα 2-15: Δομή του burst στο GSM



Σχήμα 2-16: Διάφοροι τύποι Burst στο GSM

2.4.4 Κωδικοποίηση φωνής

Το GSM, είναι ένα καθαρά ψηφιακό δίκτυο, οπότε τα αναλογικά σήματα ήχου, θα πρέπει να περάσουν από την διαδικασία της ψηφιοποίησης. Η μέθοδος που χρησιμοποιείται από το ISDN και τα υπάρχοντα τηλεφωνικά δίκτυα είναι η PCM η οποία όμως βγάζει σαν αποτέλεσμα, ροή 64 Kbps, αρκετά υψηλή για να μεταφερθεί με ραδιοζεύξη. Το GSM τελικά κατέληξε στην χρήση ενός διαφορετικού πρωτοκόλλου του **RPE-LPC**, το οποίο παίρνει τις πληροφορίες από τα προηγούμενα δείγματα φωνής, τα οποία δεν αλλάζουν αρκετά γρήγορα και προβλέπει την τρέχον δειγματοληψία. Η φωνή, χωρίζεται σε δείγματα των 20 millisecond, κωδικοποιημένα στα 260bits, δίνοντας συνολική ροή δεδομένων 13 Kbps.

2.4.4.1 Κωδικοποίηση και διαμόρφωση καναλιών

Λόγω των ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών, η κωδικοποιημένη φωνή και τα δεδομένα που μεταφέρονται μέσω ραδιοκυμάτων, θα πρέπει να προστατευθούν. Μετά από αντικειμενικές δοκιμές, βρέθηκε ότι κάποια συγκεκριμένα bits ήταν και τα πιο σημαντικά για την διατήρηση τις ποιότητας του ήχου. Αυτά τα bits, χωρίστηκαν σε 3 κλάσεις :

- Κλάση Ia 50 bits - μεγαλύτερη ευαισθησία σε λάθη των bit
- Κλάση Ib 132 bits - μέτρια ευαισθησία σε λάθη των bit
- Κλάση II 78 bits - μικρή ευαισθησία σε λάθη των bit

Τα ψηφία της κλάσης Ia, έχουν ένα 3ψήφιο πλεονάζων κυκλικό κώδικα, ο οποίος έχει προ-στεθεί για την διόρθωση των λαθών. Αν βρεθεί κάποιο λάθος, το πλαίσιο κρίνεται φθαρμένο για μεταφορά και απορρίπτεται. Έτσι γίνεται αντικατάσταση, από μια εξασθετισμένοι έκδοση του προηγούμενου σωστού πλαισίου. Τα 53 αυτά ψηφία, μαζί με τα 132 ψηφία της κλάσης Ib και 4 ψηφία για το κλείσιμο τις ακολουθίας, δίνονται σε έναν κωδικοποιητή και κάθε ψηφίο μετατρέπεται σε 2, βασισμένο σε συνδυασμό των 4 προηγούμενων ψηφίων. Ο κωδικοποιητής έχει σαν αποτέλεσμα 378 ψηφία, τα οποία προστίθενται στα απομένοντα ψηφία της κλάσης II. Έτσι κάθε 20 ms ομιλίας κωδικοποιούνται σε 456bits, δίνοντας ροή δεδομένων 22.8kbps. Τα 456 αυτά ψηφία χωρίζονται σε 8 μπλοκ των 57 ψηφίων και το καθένα από αυτά διανέμετε σε μια μονάδα χρόνου. Αφού κάθε μονάδα χρόνου μπορεί να μεταφέρει δύο μπλοκ των 57 ψηφίων, μεταφέρονται δύο διαφορετικά δείγματα φωνής. Το ψηφιακό σήμα διαμορφώνεται σε αναλογικές συχνότητες με εύρος φάσματος 200KHz, χρησιμοποιώντας ψηφιακή διαμόρφωση GMSK (Gaussian-filtered Minimum Shift Keying). Το GMSK επιλέχθηκε, καθώς αποτελεί ένα πολύ καλό συμβιβασμό μεταξύ εξοικονόμησης φάσματος, πολυπλοκότητα του πομπού και περιορισμένες ανεπιθύμητες παρεμβολές σε γειτονικά κανάλια, ώστε να μπορεί να συνυπάρχει με τα αναλογικά δίκτυα. Στους 900MHz τα ραδιοκύματα ανακλούνται σε φυσικά εμπόδια, όπως κτίρια, αμάξια, φυσικά εμπόδια κ.α. Έτσι δημιουργούνται πολλά ανακλώμενα σήματα, που φτάνουν στην κεραία με διαφορετική φάση και μέσα από τα οποία πρέπει να ανακτηθεί το σωστό σήμα της ομιλίας. Έτσι στην μέση κάθε πλαισίου το GSM αποστέλλει ένα καθορισμένο 26bit σήμα και με διάφορους αλγορίθμους επεξεργάζεται το σήμα, ώστε να είναι όσο το δυνατόν πιο σωστό γίνεται. Για να αυξηθεί η απόδοση του συστήματος και επίσης για να μην υπάρχουν αρκετές παρεμβολές στις συχνότητες, χρησιμοποιείται η μη συνεχόμενη μετάδοση δεδομένων (DTX). Το DTX εκμεταλλεύεται τα κενά που υπάρχουν στην ομιλία, κλείνοντας σε εκείνες τις περιόδους τον πομπό, εξοικονομώντας παράλληλα ενέργεια στην κινητή μονάδα.

2.4.5 Υποστήριξη κινητικότητας

2.4.4.1 Διαπομπή - Handover

Το handover, είναι η μεταφορά μιας κλήσης σε εξέλιξη, σε διαφορετικό κανάλι ή κυψέλη, για την διατήρηση της χωρίς διακοπές κατά την κίνηση του χρήστη.

Υπάρχουν 4 διαφορετικοί τύποι handover στο GSM οι οποίοι αφορούν :

- κανάλια (μονάδες χρόνου) στην ίδια κυψέλη,
- κυψέλες (BTS) που βρίσκονται από τον έλεγχο του ίδιου Βασικού σταθμού ελέγχου (BSC),
- κυψέλες που βρίσκονται στον έλεγχο διαφορετικών σταθμών ελέγχου, αλλά στο ίδιο Mobile Switching Center (MSC),
- κυψέλες σε τελείως διαφορετικά MSCs.

Οι δύο πρώτοι τύποι, καλούνται εσωτερικά handovers και χρησιμοποιούν το ίδιο βασικό σταθμό ελέγχου (BSC). Αυτοί οι τύποι ελέγχονται από το ίδιο το BSC ώστε να γίνει εξοικονόμηση στην μεταφορά δεδομένων - το MSC ενημερώνεται μόνο όταν ολοκληρωθεί το Handover. Οι άλλοι δύο τύποι handover, καλούνται εξωτερικά handovers και τα χειρίζονται τα MSCs. Τα handovers, μπορούν να ενεργοποιηθούν από το ίδιο το κινητό ή το MSC (σαν τρόπο καταπολέμησης της αυξημένης κίνησης σε μια κυψέλη). Την ώρα που δεν απασχολείται, το κινητό ελέγχει τα κανάλια επικοινωνίας με τις 16 γειτονικές κυψέλες και δημιουργεί μια λίστα με τις 6 πιο πιθανές για handover, βασισμένο σε αυτές που έχουν το δυνατότερο σήμα. Οι πληροφορίες παίρνει στο BSC και στο MSC και χρησιμοποιούνται για τον αλγόριθμο του handover. Ο αλγόριθμος τις "μικρότερης επιτρεπτής απόδοσης" δίνει το δικαίωμα αλλαγής της ισχύς στο handover, έτσι ώστε όταν το σήμα φθίνει πιο κάτω από ένα συγκεκριμένο σημείο, η ισχύς του κινητού να αυξάνεται. Αν περαιτέρω αύξηση στην ισχύ δεν βελτιώσουν το σήμα, τότε δημιουργείται handover

2.4.4.1 Ενημέρωση θέσης και δρομολόγηση-μεταγωγή κλήσεως

Το Mobile Switching Center, είναι η διασύνδεση μεταξύ του δικτύου κινητής τηλεφωνίας και του σταθερού δικτύου. Από την άποψη του σταθερού δικτύου, το MSC είναι άλλος ένας κόμβος σύνδεσης. Όμως η σύνδεση σε δίκτυο κινητής τηλεφωνίας, είναι πιο πολύπλοκη αφού το MSC θα πρέπει να ξέρει που βρίσκεται εκείνη την στιγμή το κινητό - έστω και αν βρίσκεται σε μια ξένη χώρα!(περίπτωση περιαγωγής) Ο τρόπος που το GSM καταφέρνει να βρίσκει την θέση του κινητού και να κατευθύνει σωστά την κλήση στο κινητό, είναι εφικτός με την χρήση 2 καταχωρητών : Τον Home Locator Register (HLR) και τον Visitor Locator Register (VLR). Η ανανέωση της θέσης του κινητού, ξεκινάει από το κινητό, όταν το κανάλι ελέγχου εκπομπής (BCCH) δει ότι η περιοχή εκπομπής, δεν είναι ποια η ίδια με αυτήν που έχει ήδη αποθηκευτεί στην μνήμη του κινητού. Μια αίτηση για ανανέωση και το IMSI ή το προηγούμενο TMSI στέλνεται στο νέο VLR, μέσω του νέου Mobile Switching Center. Ένα νούμερο κινητού σταθμού σε περιαγωγή (MSRN) προσδιορίζεται και στέλνεται στο HLR του κινητού (το οποίο πάντα κρατάει την τωρινή θέση), από το νέο VLR. Το MSRN είναι ένας συνηθισμένος αριθμός τηλεφώνου, ο οποίος διευθύνει την κλήση στο νέο VLR και μεταφράζεται στο TMSI του κινητού. Το HLR στέλνει πίσω τις απαραίτητες παραμέτρους ελέγχου κλήσης και επίσης στέλνει μήνυμα ακύρωσης στο παλιό VLR, ώστε το προηγούμενο MSRN να μπορεί να επαναπροσδιοριστεί. Τελευταία ένα νέο TMSI προσδιορίζεται και στέλνεται στο κινητό, ώστε να είναι αναγνωρίσιμο σε μελλοντικές αιτήσεις εισερχομένων κλήσεων.

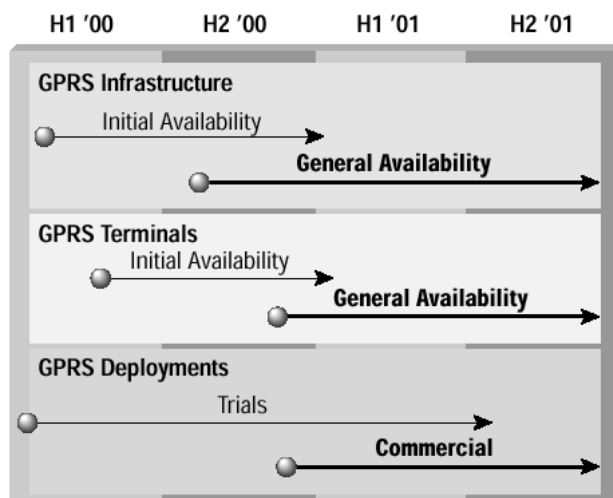
3 GPRS

3.1 Εισαγωγή

Το GPRS (General Packet Radio Service) ή Υπηρεσία μεταγωγής πακέτου, είναι μια υπηρεσία που παρέχει πραγματική ασύρματη πρόσβαση μεταγωγής πακέτου στους χρήστες των δικτύων GSM (Global System for Mobile communications). Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα της υπηρεσίας GPRS είναι ότι ο χρήστης δεσμεύει ασύρματους πόρους μόνο όταν υπάρχουν δεδομένα προς αποστολή ή λήψη και περιορίζεται έτσι, η εξάρτησή του από τα παραδοσιακά στοιχεία μεταγωγής κυκλώματος του δικτύου. Η αυξημένη λειτουργικότητα του GPRS μειώνει το κόστος παροχής υπηρεσιών δεδομένων και έπαιξε σημαντικό ρόλο στην αύξηση και την διείσδυση νέων, εύχρηστων και φτηνών υπηρεσιών δεδομένων τόσο στους απλούς χρήστες όσο και στους επαγγελματίες. Επιπλέον, η υπηρεσία GPRS υποστηρίζει QoS στις υπηρεσίες δεδομένων στους τομείς, της αξιοπιστίας, του χρόνου απόκρισης και των δυνατοτήτων που θα υποστηρίξει. Όλες αυτές οι νέες υπηρεσίες αυξάνουν την ζήτηση ασύρματων πόρων και πόρων στα BSS. Μια μέθοδος που χρησιμοποιεί το GPRS για να αντιμετωπίσει τους περιορισμένους ασύρματους πόρους είναι η από κοινού χρησιμοποίηση των ίδιων ραδιοδιαύλων από πολλούς συνδρομητές στην ίδια κυψέλη, παρέχοντας αποδοτική χρήση των περιορισμένων πόρων. Επιπρόσθετα αναπτύσσονται νέα στοιχεία δικτύου ικανά να αντεπεξέρχονται στις νέες απαιτήσεις δεδομένων εκρηκτικής μορφής των νέων υπηρεσιών.

Επιπλέον, το GPRS, εκτός από τις νέες υπηρεσίες που θα παρέχει στους χρήστες της κινητής τηλεφωνίας, είναι σημαντικό σαν μεταβατικό στάδιο προς τα δίκτυα τρίτης γενιάς (3G). Εξάλλου ο συνδυασμός GSM – GPRS χαρακτηρίζεται σαν γενιά 2+ ή 2.5. Το GPRS θα επιτρέψει στους παρόχους υπηρεσιών κινητών τηλεπικοινωνιών, να αναπτύξουν δίκτυα κορμού βασισμένα στο πρωτόκολλο IP για υπηρεσίες δεδομένων, τα οποία θα συνεχίσουν να χρησιμοποιούν και να επεκτείνουν για τις ενοποιημένες υπηρεσίες φωνής και δεδομένων της τρίτης γενιάς (3G). Τέλος, το GPRS είναι μια πλατφόρμα που δίνει τη δυνατότητα να αναπτυχθούν και να δοκιμαστούν υπηρεσίες και εφαρμογές οι οποίες θα συνεχίσουν να υπάρχουν και στα δίκτυα τρίτης γενιάς.

Ακολουθεί το χρονοδιάγραμμα εμπορικής λειτουργίας της υπηρεσίας GPRS.



Σχήμα 3-1: Εξέλιξη του GPRS

3.2 Εφαρμογές GPRS

Το GPRS θα φέρει μια πληθώρα μοναδικών νέων εφαρμογών στους συνδρομητές της κινητής τηλεφωνίας. Αυτές οι εφαρμογές περιέχουν μοναδικά χαρακτηριστικά που ενισχύουν την αξία τους στους συνδρομητές. Πρώτο χαρακτηριστικό είναι η κινητικότητα, η δυνατότητα να έχεις επικοινωνία φωνής και δεδομένων ενώ κινείσαι. Δεύτερο είναι η αμεσότητα, που επιτρέπει στους συνδρομητές να αποκτούν σύνδεση όταν αυτοί την χρειάζονται, ανεξαρτήτως γεωγραφικής περιοχής και χωρίς μια μακροχρόνια διαδικασία σύνδεσης. Τέλος, ο εντοπισμός επιτρέπει στους συνδρομητές να αποκτούν πληροφορία σχετική με την γεωγραφική τους θέση. Ο συνδυασμός αυτών των χαρακτηριστικών παρέχουν ένα ευρύ φάσμα πιθανών εφαρμογών που μπορούν να προσφερθούν στους χρήστες. Γενικά οι πιθανές εφαρμογές μπορούν να χωριστούν στις παρακάτω κατηγορίες:

- Υπηρεσίες τηλεπικοινωνιών (email, fax, internet/intranet access)
- Υπηρεσίες προστιθέμενης αξίας (υπηρεσίες πληροφοριών, παιχνίδια)
- Υπηρεσίες ηλεκτρονικού εμπορίου (λιανικό εμπόριο, πώληση εισιτηρίων, τραπεζικές συναλλαγές)
- Υπηρεσίες βασισμένες στη γεωγραφική θέση του συνδρομητή (πλοήγηση, συνθήκες κυκλοφοριακής κίνησης, δρομολόγια τρένων/αεροπλάνων)
- Κάθετες εφαρμογές (διανομή εμπορευμάτων, διαχείριση στόλου)
- Διαφήμιση

3.3 Κινητά τερματικά GPRS

Για να γίνουν πλήρως κατανοητές οι εφαρμογές που θα χρησιμοποιούν τεχνολογία GPRS θα πρέπει να γίνουν κατανοητοί οι τύποι των τερματικών που θα είναι διαθέσιμοι. Ο όρος «τερματικός εξοπλισμός» (terminal equipment) αναφέρεται σε κινητά τηλέφωνα και κινητούς σταθμούς που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε περιβάλλον GPRS. Ο εξοπλισμός ορίζεται από τάξεις και τύπους (terminal classes and types).

3.3.1 Τάξεις τερματικών GPRS

Υπάρχουν τρεις τάξεις τερματικών GPRS:

Τάξη A: τα τερματικά αυτής της τάξης υποστηρίζουν τόσο GPRS όσο και GSM υπηρεσίες (όπως υπηρεσίες φωνής και SMS) ταυτόχρονα. Αυτή η υποστήριξη συμπεριλαμβάνει ταυτόχρονη σύνδεση (attach), ενεργοποίηση (activation), έλεγχο (monitor) και κίνηση (traffic). Δηλαδή, τα τερματικά τάξης A μπορούν να κάνουν ή να δεχτούν κλήση και στις δύο υπηρεσίες ταυτόχρονα.

Τάξη B: τα τερματικά αυτής της τάξης μπορούν να ελέγχουν (monitor) τα GSM και GPRS κανάλια ταυτόχρονα, αλλά μπορούν να υποστηρίξουν μόνο μία εκ των δύο υπηρεσιών κάποια δεδομένη χρονική στιγμή. Επομένως ένα τερματικό αυτής της τάξης μπορεί να υποστηρίξει ταυτόχρονη σύνδεση (attach), ενεργοποίηση (activation) και έλεγχο (monitor), αλλά όχι ταυτόχρονη κίνηση (traffic). Όπως και στην τάξη A, τα εικονικά κυκλώματα GPRS δεν κλείνουν όταν υπάρχει κίνηση μεταγωγής κυκλώματος. Αντί αυτού, γίνεται μεταγωγή σε κατάσταση κατειλημμένου (busy mode) ή αναμονής (on hold). Επομένως οι χρήστες μπορούν να πραγματοποιούν ή να δέχονται κλήσεις είτε μεταγωγής πακέτου (GPRS) είτε μεταγωγής κυκλώματος (GSM) όχι όμως ταυτόχρονα.

Τάξη C: τα τεματικά αυτής της τάξης υποστηρίζουν μόνο μη ταυτόχρονη σύνδεση (attach). Ο χρήστης πρέπει να επιλέξει σε ποια υπηρεσία θέλει να συνδεθεί. Επομένως, ένα τεματικό της τάξης αυτής μπορεί να πραγματοποιήσει ή να δεχτεί κλήσεις μόνο της επιλεγμένης υπηρεσίας. Η υπηρεσία που δεν είναι επιλεγμένη δεν είναι και προσιτή. Τέλος, η προδιαγραφή GPRS για την υποστήριξη SMS είναι προαιρετική για τα τεματικά της τάξης αυτής. Επίσης υπάρχουν και κλάσεις κινητών τεματικών ανάλογα με τον αριθμό καναλιών που μπορούν να χρησιμοποιήσουν στο uplink και downlink.

Type	Multislot Class	Max No of Receive Timeslots	Max No of Transmit Timeslots	Sum Rx +Tx	T _{1a}	T _{2a}	T _{3a}	T _{4a}
1	1	1	1	2	3	2	4	2
1	2	2	1	3	3	2	3	1
1	3	2	2	3	3	2	3	1
1	4	3	1	4	3	1	3	1
1	5	2	2	4	3	1	3	1
1	6	3	2	4	3	1	3	1
1	7	3	3	4	3	1	3	1
1	8	4	1	5	3	1	2	1
1	9	3	2	5	3	1	2	1
1	10	4	2	5	3	1	2	1
1	11	4	3	5	3	1	2	1
1	12	4	4	5	2	1	2	1
2	13	3	3	N/A	N/A	1/0*	3	1/0*
2	14	4	4	N/A	N/A	1/0*	3	1/0*
2	15	5	5	N/A	N/A	1/0*	3	1/0*

Σχήμα 3-2: Multislot classes

3.3.2 Τύποι τεματικών GPRS

Κάθε τύπος τεματικού GPRS έχει τη δική του σχεδίαση. Κάποιες σχεδιάσεις είναι παρόμοιες με τις ήδη υπάρχουσες ασύρματες συσκευές, ενώ κάποιες άλλες εξελίχθηκαν προκειμένου να υποστηρίζουν τις νέες δυνατότητες των υπηρεσιών δεδομένων του GPRS. Ο πρώτος διαθέσιμος τύπος έχει πολλές ομοιότητες με τα ήδη υπάρχοντα κινητά τηλέφωνα. Περιλαμβάνει ένα αριθμητικό πληκτρολόγιο και μια μικρή σχετικά οθόνη. Οι κάρτες PC (PC cards) είναι συσκευές μεγέθους πιστωτικής κάρτας, οι οποίες συνδέονται μέσω σειριακού καλωδίου με κινητό τηλέφωνο. Οι κάρτες δεδομένων (data cards), για τηλέφωνα GPRS, επιτρέπουν στους φορητούς ηλεκτρονικούς υπολογιστές και σε άλλες συσκευές με υποδοχή PC card, να συνδεθούν σε κινητά τηλέφωνα τεχνολογίας GPRS. Τα τηλέφωνα κάρτες (card phones) παρέχουν παρόμοιες λειτουργίες με τις PCMCIA cards χωρίς να χρειάζονται την ύπαρξη χωριστού κινητού τηλεφώνου. Τα έξυπνα τηλέφωνα (smart phones) είναι κινητά τηλέφωνα που ενσωματώνουν υπηρεσίες φωνής, δεδομένων, web, κ.ά. Τα έξυπνα τηλέφωνα συνδυάζουν κινητή επικοινωνία και υπό-φορητό H/Y σε μια συσκευή. Η σχεδίασή τους μπορεί να περιλαμβάνει πληκτρολόγιο και οθόνη με εικονίδια. Η αυξανόμενη επικοινωνία μηχανής με μηχανή δημιούργησε συσκευές ειδικά για αυτό το σκοπό. Αυτά τα «μαύρα κουτιά», χωρίς πληκτρολόγιο, οθόνη, μικρόφωνο και ακουστικό, επικοινωνούν μέσω σειριακού καλωδίου με κάποια μηχανή. Οι προσωπικοί ψηφιακοί βοηθοί (Personal Digital Assistants – PDAs) είναι συσκευές οι οποίες μπορούν να έχουν είτε ενσωματωμένες δυνατότητες GPRS είτε να συνδέονται μέσω σειριακού καλωδίου με κάποιο GPRS κινητό τηλέφωνο.

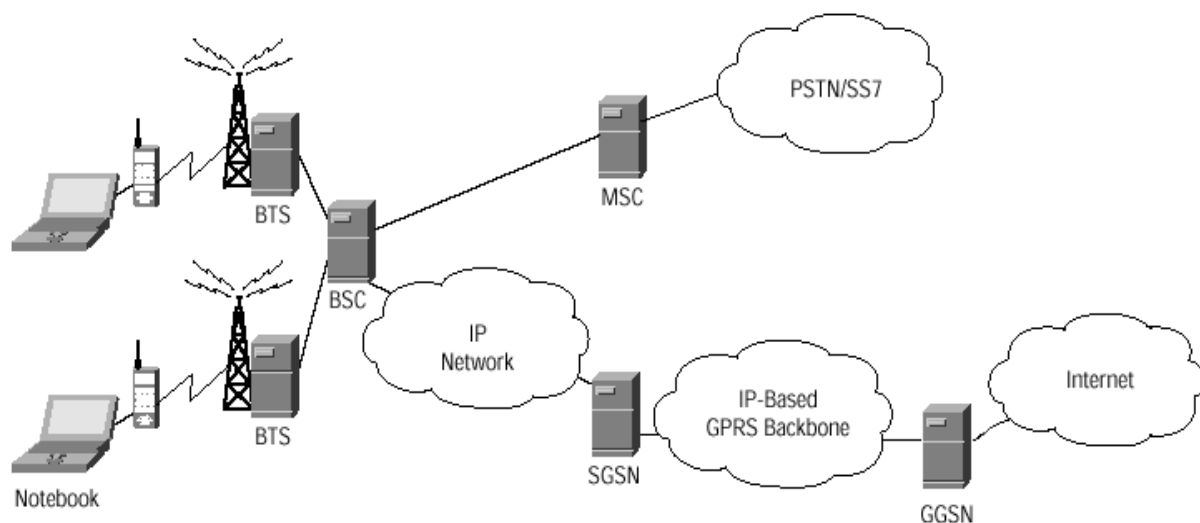
3.4 Αρχιτεκτονική GPRS

Αρχικά, το GPRS μπορεί να εκληφθεί σαν ένα δίκτυο που επικάθεται πάνω στο δεύτερης γενιάς GSM και το οποίο παρέχει υπηρεσίες μεταγωγής πακέτου. Οι ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων του GPRS είναι μέχρι 171 kbps. Επιπλέον, περισσότεροι χρήστες μπορούν να μοιράζονται τους ίδιους πόρους του air-interface.

Το GPRS προσπαθεί να χρησιμοποιήσει τα ήδη υπάρχοντα στοιχεία του δικτύου GSM όσο το δυνατόν περισσότερο. Όμως, για να χτίσει αποτελεσματικά ένα κυψελωτό δίκτυο βασισμένο στη μεταγωγή πακέτου, χρειάζονται κάποια νέα στοιχεία δικτύου, διεπαφές και πρωτόκολλα που να μπορούν να διαχειριστούν την απαιτούμενη κίνηση πακέτων. Επομένως, θα πρέπει να γίνουν οι απαραίτητες αλλαγές στο GSM δίκτυο σύμφωνα με τον παρακάτω Πίνακα 3-1.

Στοιχείο δικτύου GSM	Τροποποίηση ή αναβάθμιση για GPRS
Κινητό τερματικό (MT)	Χρειάζεται ένα τελείως καινούργιο κινητό τερματικό για πρόσβαση στις υπηρεσίες GPRS. Τα νέα τερματικά μπορούν να είναι προς τα πίσω συμβατά με το GSM.
BTS	Χρειάζεται αναβάθμιση λογισμικού.
BSC	Χρειάζεται αναβάθμιση λογισμικού αλλά και εγκατάσταση ενός νέου εξαρτήματος που ονομάζεται Μονάδα Ελέγχου Πακέτων (Packet Control Unit – PCU). Η PCU προωθεί την κίνηση δεδομένων στο δίκτυο GPRS.
Δίκτυο πυρήνας	Χρειάζεται εγκατάσταση νέων στοιχείων δικτύου πυρήνα. Ο κόμβος υποστήριξης GPRS εξυπηρέτησης (Serving GPRS Support Node – SGSN) και ο κόμβος υποστήριξης GPRS πύλη (Gateway GPRS Support Node – GGSN).
Βάσεις δεδομένων (VLR, HLR)	Όλες οι βάσεις δεδομένων χρειάζονται αναβάθμιση λογισμικού προκειμένου να διαχειριστούν τα νέα μοντέλα κλήσεων και τις διαδικασίες του GPRS.

Πίνακας 3-1: Στοιχεία για την αναβάθμιση του δικτύου, για την υποστήριξη GPRS



Σχήμα 3-3: Αρχιτεκτονική του GPRS στο GSM

3.4.1 Base Station Subsystem (BSS)

Κάθε BSC χρειάζεται την εγκατάσταση ενός ή περισσότερων PCU και αναβάθμιση λογισμικού. Η PCU παρέχει φυσική και λογική διεπαφή για τα δεδομένα πακέτου έξω από το BSS. Επίσης, αναβάθμιση λογισμικού χρειάζεται και το BTS.

Κίνηση φωνής και δεδομένων από το κινητό τερματικό του συνδρομητή, μεταφέρεται μέσω του air-interface στο BTS και κατόπιν στο BSC με τον ίδιο τρόπο όπως και στο GSM. Στην έξοδο του BSC, η κίνηση χωρίζεται. Η κίνηση φωνής οδηγείται στο MSC του GSM, ενώ η κίνηση δεδομένων αποστέλλεται στο SGSN μέσω της PCU πάνω από Frame Relay.

3.4.2 Δίκτυο GPRS

Στο υπάρχον δίκτυο κορμό, τα MSCs δεν μπορούν να διαχειριστούν κίνηση μεταγωγής πακέτου. Επομένως πρέπει να προστεθούν νέα στοιχεία δικτύου:

- Κόμβος υποστήριξης GPRS εξυπηρέτησης (Serving GPRS Support Node – SGSN)
- Κόμβος υποστήριξης GPRS πύλη (Gateway GPRS Support Node – GGSN)

Το SGSN μπορεί να θεωρηθεί σαν ένα «MSC μεταγωγής πακέτου». Μεταφέρει κίνηση πακέτων από και προς τα κινητά τερματικά. Επικοινωνεί με τον HLR για να ανακτήσει τα προφίλ δεδομένων των συνδρομητών. Εντοπίζει νέα κινητά τερματικά GPRS σε δεδομένη περιοχή εξυπηρέτησης, εγγράφει τους νέους συνδρομητές και κρατάει αρχείο με την θέση του μέσα στην δεδομένη περιοχή. Το SGSN διεξάγει λειτουργίες κινητικότητας χρηστών όπως σύνδεση/αποσύνδεση (attach/detach). Το SGSN είναι συνδεδεμένο με το BSS μέσω της PCU με σύνδεση Frame Relay.

Το GGSN χρησιμοποιείται για διασύνδεση με εξωτερικά δίκτυα IP όπως το Internet, με υπηρεσίες GPRS άλλων παρόχων, αλλά και με εταιρικά intranets. Το GGSN διατηρεί πληροφορία δρομολόγησης που είναι απαραίτητη για το πέρασμα των μονάδων δεδομένων του πρωτοκόλλου (Protocol Data Units – PDUs) στο SGSN που εξυπηρετεί κάποιο συγκεκριμένο κινητό τερματικό. Άλλη λειτουργία του GGSN είναι η χαρτογράφηση διευθύνσεων (address mapping). Στο δίκτυο μπορούν να εγκατασταθούν περισσότερα από ένα GGSN.

3.4.3 Διαχείριση κινητικότητας GPRS

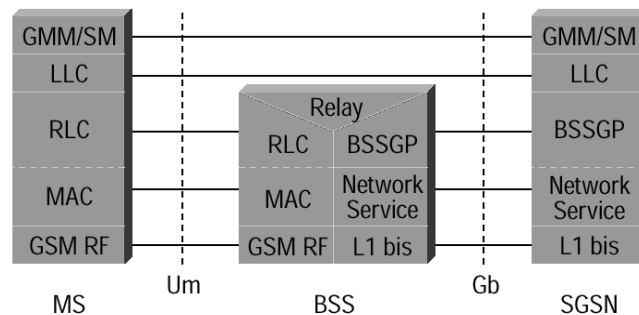
Η διαχείριση της κινητικότητας στο GPRS βασίζεται σε μηχανισμούς που χρησιμοποιούνται στο GSM. Καθώς το κινητό τερματικό μετακινείται από περιοχή σε περιοχή, οι λειτουργίες διαχείρισης κινητικότητας παρακολουθούν την θέση του τερματικού. Τα SGSN επικοινωνούν μεταξύ τους και ενημερώνονται για τη θέση του χρήστη. Τα προφίλ των συνδρομητών κρατούνται στα VLRs που είναι προσπελάσιμα από το SGSN μέσω των τοπικών MSCs. Δημιουργείται και διατηρείται μια λογική σύνδεση μεταξύ SGSN και κινητού τερματικού. Στο τέλος της μετάδοσης ή όταν το κινητό τερματικό βγαίνει από την περιοχή κάποιου SGSN, η λογική σύνδεση διακόπτεται.

3.5 Επικοινωνία δεδομένων GPRS

Υπάρχει κάποια συνεργασία μεταξύ των στοιχείων δικτύου του GSM και του GPRS. Στο φυσικό επίπεδο οι πόροι μπορούν να χρησιμοποιούνται και από τις δύο υπηρεσίες, ενώ υπάρχει κοινή κυκλοφορία της σηματοδότησης. Στο ίδιο φέρον, μπορούν να υπάρχουν χρονοθυρίδες δεσμευμένες ταυτόχρονα και για GSM και για GPRS. Η αποδοτικότερη χρήση των πόρων επιτυγχάνεται μέσω δυναμικής κατανομής μεταξύ των καναλιών μεταγωγής κυκλώματος και πακέτου. Κατά την εγκατάσταση μιας κλήσης μεταγωγής κυκλώματος, υπάρχει περιθώριο να προεκτοπισθούν πόροι GPRS προκειμένου να γίνει η κλήση μεταγωγής κυκλώματος μεγαλύτερης προτεραιότητας.

3.5.1 Υπηρεσία GPRS

Το GPRS παρέχει μια υπηρεσία «σύνδεσμο» ενός δικτύου δεδομένων με ένα κινητό τερματικό τεχνολογίας GPRS. Ακολουθεί η διαστρωμάτωση των πρωτοκόλλων του GPRS Σχήμα 3-4:



Σχήμα 3-4: Διαστρωμάτωση των πρωτοκόλλων του GPRS

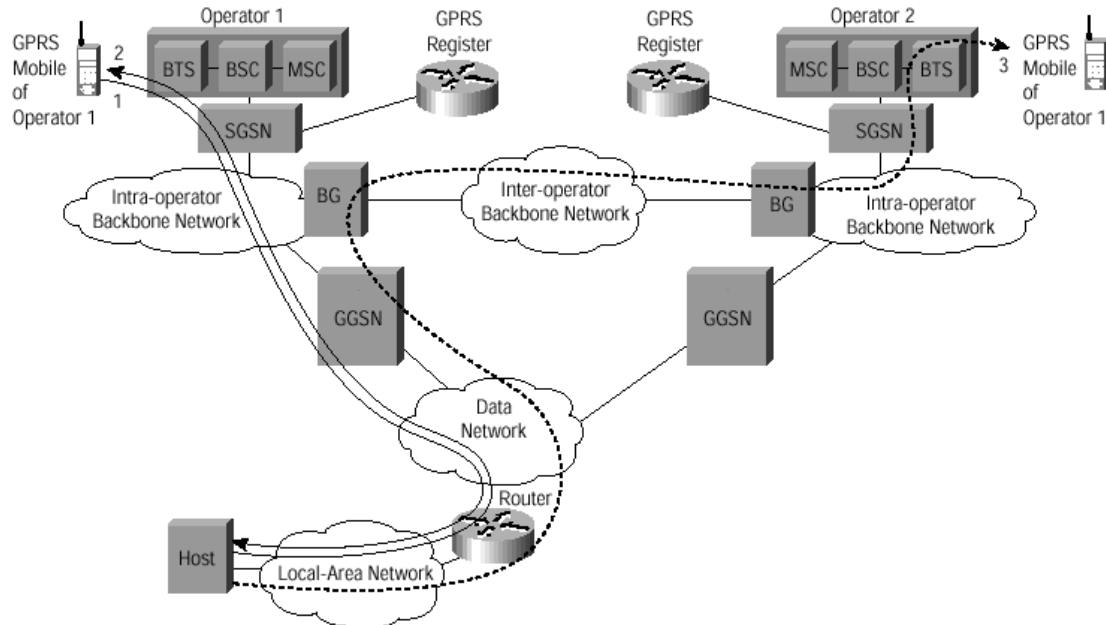
Στο φυσικό επίπεδο, οι ραδιοδιαύλοι αποτελούνται από έναν αριθμό χρονοθυρίδων (1 έως 8). Έτσι, έχουμε ένα μέγιστο θεωρητικό ρυθμό μεταφοράς δεδομένων της τάξης των 171kbps. Ο έλεγχος πρόσβασης στο μέσο (Media Access Control – MAC) χρησιμοποιεί τους φυσικούς πόρους (ραδιοδιαύλους) και παρέχει υπηρεσίες στο πρωτόκολλο ελέγχου λογικής διασύνδεσης (Logical Link Control – LLC) του GPRS μεταξύ κινητού τερματικού και SGSN. Το LLC είναι μια τροποποίηση του High-Level Data Link Control (HDLC) βασισμένη στο Radio Link Protocol (RLP) με μεταβλητό μέγεθος πλαισίου (frame). Τα δυο πιο σημαντικά χαρακτηριστικά που προσφέρονται από το LLC είναι η υποστήριξη διευθυνσιοδότησης σημείου προς πολλαπλά σημεία (point to multipoint) και ο έλεγχος των επανεκπομπών των πλαισίων δεδομένων.

3.5.2 Δρομολόγηση δεδομένων

Ένα από τα σημαντικότερα θέματα στο δίκτυο GPRS είναι η δρομολόγηση των πακέτων δεδομένων από και προς τα κινητά τερματικά.

Η κύρια λειτουργία του GGSN είναι η αλληλεπίδραση με εξωτερικά δίκτυα δεδομένων. Το GGSN ενημερώνει τον κατάλογο θέσεων, χρησιμοποιώντας την πληροφορία που παρέχεται από τα SGSNs σχετικά με τις θέσεις των κινητών τερματικών, και δρομολογεί τα πακέτα δεδομένων των εξωτερικών δικτύων στο SGSN που εξυπηρετεί κάποιο κινητό τερματικό. Ακόμα, προωθεί τα πακέτα των εξωτερικών δικτύων στο κατάλληλο δίκτυο δεδομένων και συλλέγει πληροφορία σχετική με τη χρέωση, την οποία προωθεί στην πύλη χρέωσης (charging gateway).

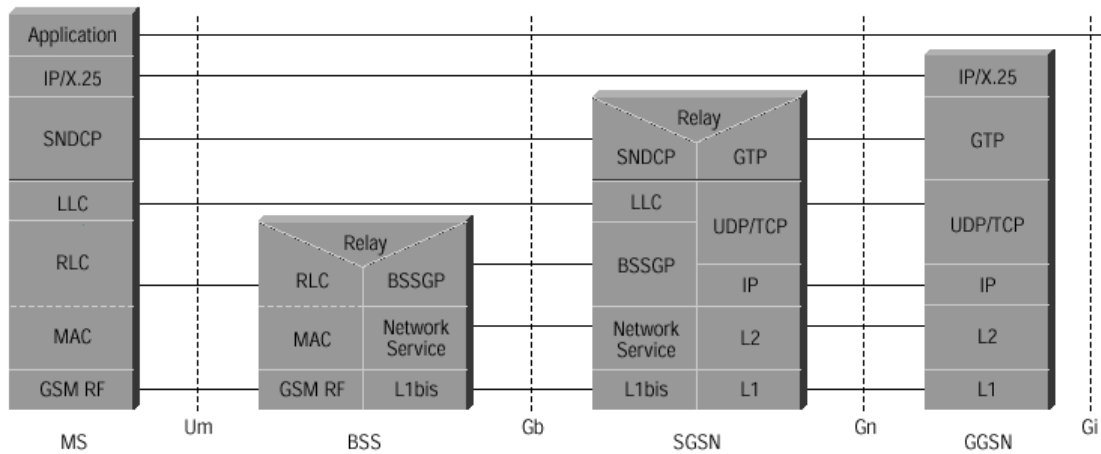
Στο παρακάτω Σχήμα 3-5 παρουσιάζονται τρεις διαφορετικές περιπτώσεις δρομολόγησης: μήνυμα προερχόμενο από κινητό τερματικό (διαδρομή 1), μήνυμα προερχόμενο από εξωτερικό δίκτυο όταν το κινητό τερματικό βρίσκεται στο οικείο δίκτυο (διαδρομή 2) και μήνυμα προερχόμενο από εξωτερικό δίκτυο όταν το κινητό τερματικό έχει εγγραφεί (roaming) σε δίκτυο άλλου παρόχου (διαδρομή 3).



Σχήμα 3-5: Δικτυακή τοπολογία του GPRS

Στα παραπάνω παραδείγματα, το δίκτυο GPRS αποτελείται από πολλά GSNs (gateway και serving) και από ένα δίκτυο κορμού που συνδέει τους παρόχους μεταξύ τους. Οι πάροχοι GPRS μπορούν να επιτρέπουν περιαγωγή μέσω ενός δικτύου κορμού που τους διασύνδεει. Οι πάροχοι συνδέονται μεταξύ τους μέσω της συνοριακής πύλης (Border Gateway – BG), που παρέχει τα απαραίτητα για τη διασύνδεση πρωτόκολλα δρομολόγησης (πχ. Πρωτόκολλο Συνοριακής Πύλης – Border Gateway Protocol – BGP). Επίσης, προβλέπεται ότι οι πάροχοι υλοποιούν μηχανισμούς ποιότητας υπηρεσίας (Quality of Service – QoS) για να εξασφαλίζουν συμφωνίες υπηρεσιών επιπέδου (service-level agreements – SLAs). Τα κύρια πλεονεκτήματα αυτής της αρχιτεκτονικής είναι η ευκαμψία (flexibility), η κλιμάκωση (scalability), η διαλειτουργικότητα (interoperability) και η περιαγωγή (roaming).

Το GPRS ενθυλακώνει όλα τα πρωτόκολλα των εξωτερικών δικτύων δεδομένων μέσα στο δικό του πρωτόκολλο, το ονομαζόμενο GPRS Tunneling Protocol (GTP). Αυτό γίνεται για την ασφάλεια στο εσωτερικό δίκτυο κορμού και για να απλοποιηθούν ο μηχανισμός δρομολόγησης και η παράδοση των δεδομένων μέσα από το δίκτυο GPRS. Ακολουθεί Σχήμα 3-6 με τα στρώματα του GTP:



Σχήμα 3-6: Διαστρωμάτωση των πρωτοκόλλων του GTP

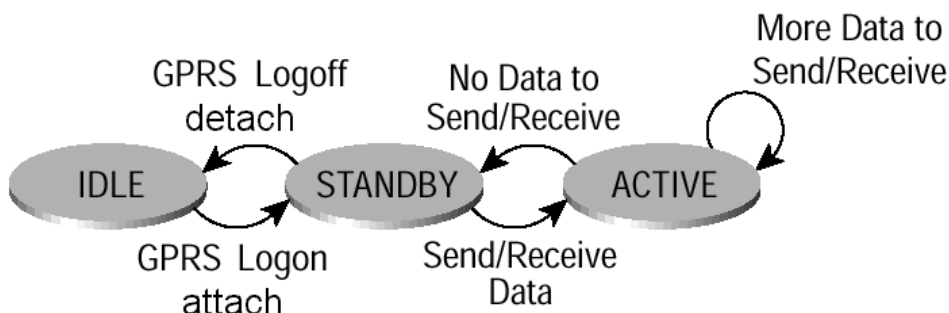
3.5.3 Διαχείριση κινητικότητας GPRS

Η λειτουργία του GPRS είναι εν μέρη ανεξάρτητη από τη λειτουργία του GSM δικτύου. Ωστόσο, μερικές διαδικασίες μοιράζονται τα στοιχεία του δικτύου με λειτουργίες του GSM, για αποτελεσματικότητα και βέλτιστη χρήση των ελεύθερων GSM πόρων. Ένα κινητό τερματικό GPRS, μπορεί να βρίσκεται σε μια από τις τρεις παραπάνω καταστάσεις λειτουργίας: ανενεργό (IDLE), σε ετοιμότητα (STANDBY) και ενεργό (ACTIVE) Σχήμα 3-7. Μεταδίδονται δεδομένα μεταξύ κινητού τερματικού και δικτύου GPRS μόνο όταν το κινητό τερματικό είναι στην ενεργή κατάσταση. Σε αυτή την κατάσταση, το SGSN γνωρίζει σε ποια κυψέλη βρίσκεται το κινητό τερματικό. Ωστόσο, όταν το κινητό βρίσκεται σε κατάσταση ετοιμότητας, το δίκτυο γνωρίζει μόνο σε ποια περιοχή δρομολόγησης βρίσκεται το κινητό (η περιοχή δρομολόγησης αποτελείται από μια ή περισσότερες κυψέλες). Όταν το SGSN στείλει ένα πακέτο στο κινητό τερματικό (MT) που βρίσκεται σε κατάσταση ετοιμότητας, το MT θα πρέπει να ειδοποιηθεί (paging). Επειδή το SGSN γνωρίζει μόνο την περιοχή δρομολόγησης μέσα στην οποία βρίσκεται το MT και όχι την κυψέλη, πρέπει να αποσταλεί πακέτο ειδοποίησης (packet paging message) στις κυψέλες της περιοχής δρομολόγησης. Αφού το MT λάβει το πακέτο ειδοποίησης, στέλνει την ακριβή θέση του στο SGSN προκειμένου να μεταβεί στην ενεργή κατάσταση. Όταν ένα MT είναι στην ενεργή κατάσταση, η μετάδοση δεδομένων προς αυτό ξεκινάει με ένα πακέτο ειδοποίησης, για να ενημερωθεί το MT για το εισερχόμενο πακέτο. Η μετάδοση δεδομένων προχωράει αμέσως μετά το πακέτο ειδοποίησης μέσω του καναλιού που έχει υποδειχθεί από το πακέτο ειδοποίησης. Σκοπός του πακέτου ειδοποίησης είναι να απλοποιήσει την διαδικασία λήψης πακέτων. Το MT πρέπει να «ακούει» μόνο τα πακέτα ειδοποίησης αντί για όλα τα πακέτα δεδομένων με αποτέλεσμα σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας. Όταν ένα MT έχει πακέτα προς μετάδοση, χρειάζεται πρόσβαση στο κανάλι άνω ζεύξης (uplink). Το κανάλι αυτό είναι κοινό σε πολλά MT. Το MT ζητά τη χρήση του καναλιού στέλνοντας ένα πακέτο τυχαίας προσπέλασης (Packet Random Access Message). Η μετάδοση αυτού του πακέτου ακολουθεί τις διαδικασίες του Slotted Aloha. Κατόπιν, το BSS αναθέτει κάποιο ελεύθερο κανάλι στο MT και στέλνει μήνυμα παραχώρησης προσπέλασης πακέτου (Packet Access Grant Message) ως απάντηση. Τα χαρακτηριστικά του καναλιού (ένα ή περισσότερα timeslots) περιγράφονται στο μήνυμα παραχώρησης προσπέλασης. Τέλος, τα δεδομένα μεταδίδονται στα δεσμευμένα κανάλια. Οι κυριότεροι λόγοι ύπαρξης της κατάστασης ετοιμότητας (STANDBY), είναι η μείωση του φόρτου του δικτύου GPRS, εξαιτίας των μηνυμάτων ενημέρωσης θέσης, αλλά και η εξοικονόμηση ενέργειας στο MT. Όταν το MT είναι σε αυτήν την κατάσταση, δεν υπάρχει λόγος να πληροφορεί το SGSN για κάθε αλλαγή κυψέλης, αλλά μόνο για κάθε αλλαγή περιοχής δρομολόγησης. Ο πάροχος, μπορεί να ορίσει το

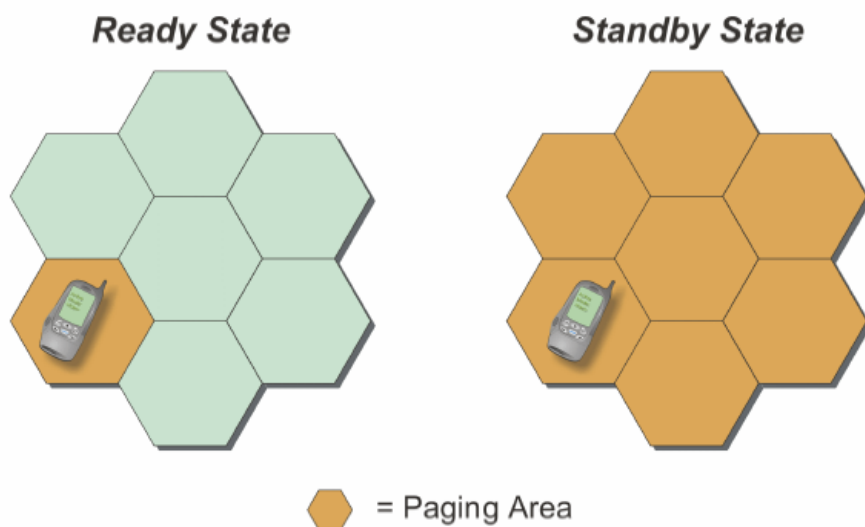
μέγεθος κάθε περιοχής δρομολόγησης με τέτοιο τρόπο, ώστε να περιορίσει τα μηνύματα ενημέρωσης θέσης.

Στην ανενεργή κατάσταση λειτουργίας, το MT δεν έχει λογική σύνδεση στο δίκτυο GPRS και δεν του έχει ανατεθεί καμία διεύθυνση σε κανένα δημόσιο δίκτυο δεδομένων μεταγωγής πακέτου (Packet-Switched Public Data Network – PSPDN). Σε αυτή την κατάσταση, το MT μπορεί να λάβει μόνο κοινά μηνύματα (multicast messages) που απευθύνονται σε όλα τα GPRS MT. Επειδή το δίκτυο GPRS δεν γνωρίζει τη θέση του MT, δεν είναι δυνατό να του στείλει πακέτα που προέρχονται από εξωτερικά δίκτυα δεδομένων. Η διαδικασία ενημέρωσης θέσης, σε κάθε κυψέλη, ενεργοποιείται όταν ένα MT, που βρίσκεται στην ενεργή κατάσταση, μπει σε μια νέα κυψέλη. Σε αυτή την περίπτωση, το MT στέλνει ένα σύντομο μήνυμα με πληροφορία της κίνησής του (το μήνυμα αυτό περιέχει την ταυτότητα του MT και τη νέα του θέση), διαμέσου των καναλιών GPRS, στο SGSN που το εξυπηρετεί. Αυτή η διαδικασία πραγματοποιείται μόνο όταν το MT βρίσκεται στην ενεργό κατάσταση.

Όταν το MT είναι είτε στην ενεργό κατάσταση είτε στην κατάσταση ετοιμότητας και κινηθεί από μία περιοχή δρομολόγησης σε άλλη, σε περιοχές που εξυπηρετούνται από το ίδιο SGSN, πρέπει να πραγματοποιήσει ενημέρωση θέσης δρομολόγησης. Η πληροφορία δρομολόγησης στο SGSN ενημερώνεται και η επιτυχία της διαδικασίας αποστέλλεται με μήνυμα απόκρισης. Τέλος, μια δια-SGSN (inter-SGSN) ενημέρωση δρομολόγησης είναι η πιο περίπλοκη από τις τρεις. Σε αυτή την περίπτωση, το MT αλλάζει SGSN και εξυπηρετείται από άλλο. Έτσι, θα πρέπει να δημιουργήσει νέα λογική σύνδεση με το νέο SGSN. Ακόμα, πρέπει να ενημερωθεί και το GGSN με τη νέα θέση του MT.



Σχήμα 3-7: Καταστάσεις του κινητού τερματικού στο GPRS



Σχήμα 3-8: Καταστάσεις αναζήτησης του κινητού τερματικού στο GPRS

3.6 Τα κανάλια στο GPRS

3.6.1 Το φυσικό κανάλι

Το φυσικό κανάλι του GPRS ονομάζεται PDCH (Packet Data Channel). Το multiframe αποτελείται από 12 radio blocks (4 TDMA frames το καθένα), 2 ανενεργά frames και 2 frames για PTCCH (Packet Timing advance Control Channel).

Το πρωτόκολλο RLC/MAC (Radio Link Control / Medium Access Control) χρησιμοποιείται για power control και για πολυπλεξία στο uplink. Το ίδιο TSL μπορεί να χρησιμοποιείται από περισσότερους από ένα χρήστες. Θεωρητικά, μπορούμε να έχουμε ένα radio block ανά χρήστη (12 ταυτόχρονους χρήστες ανά TSL). Σε κάθε χρήστη δίδεται ένας δείκτης, ο οποίος ονομάζεται USF (Uplink State Flag) και προσδιορίζει ποιο φυσικό κανάλι μπορεί να χρησιμοποιήσει και ποιο radio block σε κάθε κανάλι.

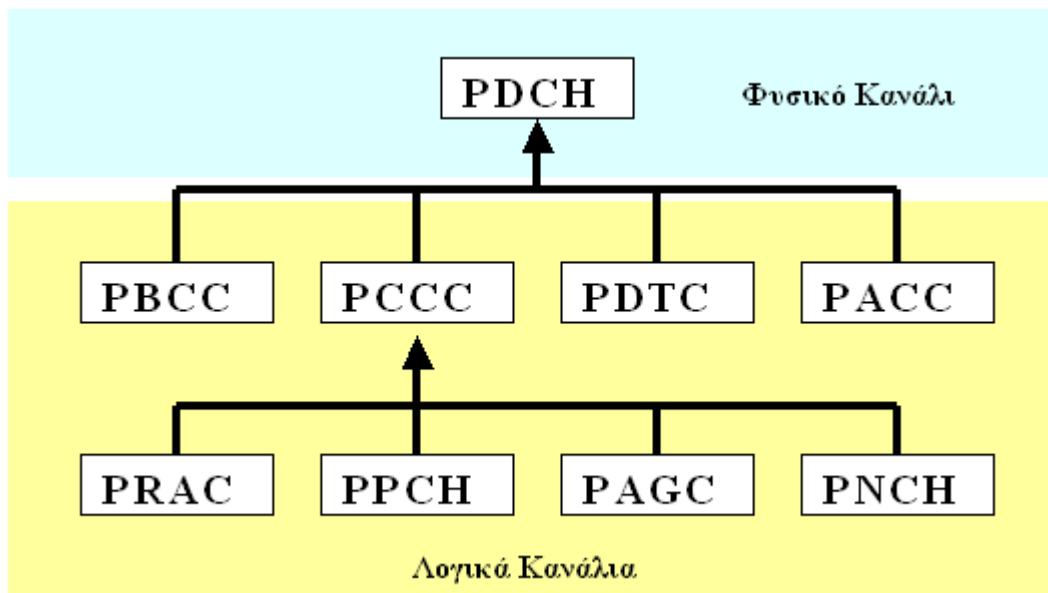
Μπορούμε να ορίσουμε τριών ειδών TSLs για χρήση GPRS στο air interface:

Default TSL: Χρησιμοποιείται για GPRS (by default) μόνο όταν δεν υπάρχει υπερφόρτωση.

Dedicated TSL: Χρησιμοποιείται αποκλειστικά για GPRS.

Additional TSL: Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για GPRS εάν υπάρχει αυξημένη ζήτηση.

3.6.2 Τα λογικά κανάλια



Σχήμα 3-9: Λογικά κανάλια στο GPRS

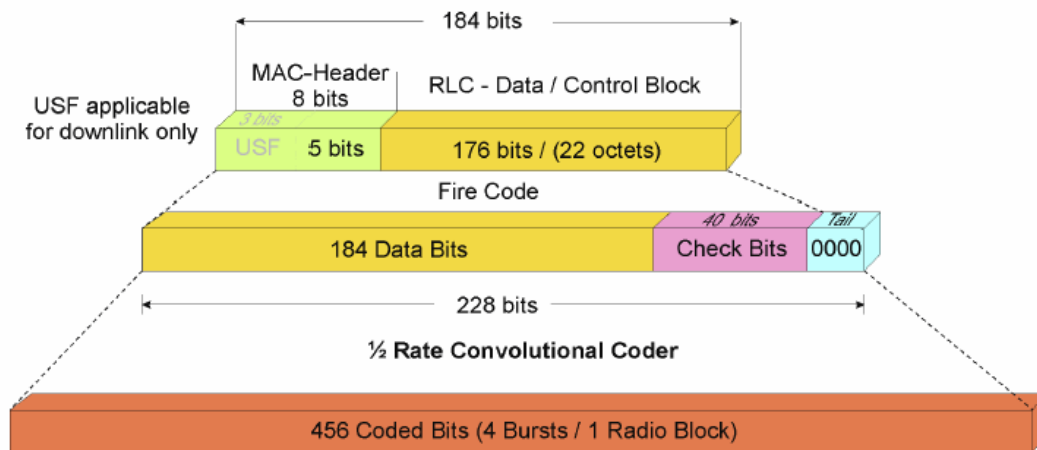
- Packet Broadcast Control CHannel – **PBCCCH**
- Packet Data Traffic CHannel – **PDTCH**
- Packet Associated Control CHannel – **PACCH**
- Packet Common Control CHannel – **PCCCCH**
- Packet Random Access CHannel – **PRACH**
- Packet Access Grant CHannel – **PAGCH**
- Packet Paging CHannel – **PPCH**
- Packet Notification CHannel – **PNCH**
- Packet Timing advance Control CHannel – **PTCCH**

3.6.3 Υποστηριζόμενοι ρυθμοί

Τα κανάλια κίνησης του GPRS υποστηρίζουν 4 διαφορετικά σχήματα κωδικοποίησης coding schemes CS. Οι ρυθμοί για τα σχήματα κωδικοποίησης είναι:

Λεπτομέρειες για το CS-1:

- Η κωδικοποίηση CS-1 χρησιμοποιεί το ίδιο σχήμα κωδικοποίησης όπως η σηματοδότηση στο GSM. (SDCCH, FACCH, SACCH).
- 176 bits + 8 bits για την MAC επικεφαλίδα δίνονται στο κωδικοποιητή.
- Αρχικά ο κωδικοποιητής προσθέτει στην fire coding 40 bit ελέγχου και 4 bit ουράς. Η κωδικοποίηση που χρησιμοποιείται είναι '0000'_{bin}.
- Τα 228 bits χρησιμοποιούνται σαν είσοδος στο 1/2 περιελεκτικό κωδικοποιητή, παρέχοντας 456 bit έξοδο.



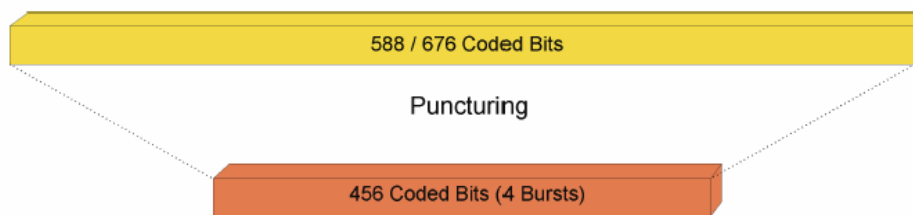
Σχήμα 3-10: Η δομή του CS-1

Λεπτομέρειες για το CS-2,3:

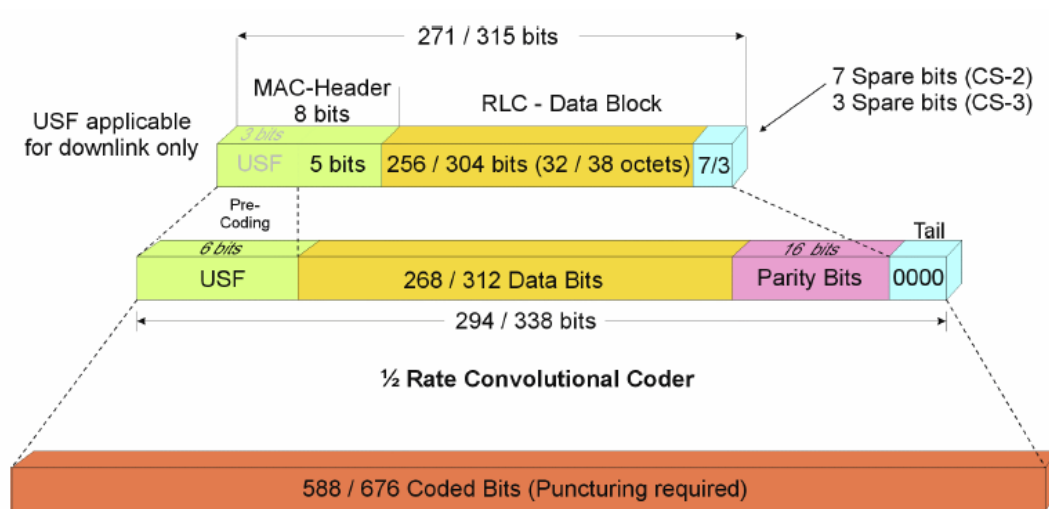
- Η τεχνική κωδικοποίησης του CS-2,3 είναι εντελώς διαφορετική από αυτή που χρησιμοποιείται στο CS-1 και CS-4
- Στο downlink για την κωδικοποίηση CS-2,3, τα 3 bits του USF κωδικοποιούνται και επεκτείνονται σε 6 bit.
- Στην κωδικοποίηση CS-2 δίνονται 256 bits στον κωδικοποιητή, ενώ στο CS-3 δίνονται 304 bits.
- Τα 256/304 bits + bits της MAC επικεφαλίδα + κωδικοποιημένα bits του USF προσαρτώνται από 16 bits ισοτιμίας + 4 bits ουρά. Η κωδικοποίηση που χρησιμοποιείται είναι '0000'_{bin}.
- Τα 294/338 bits χρησιμοποιούνται σαν είσοδος στο 1/2 περιελεκτικό κωδικοποιητή, παρέχοντας 588/676 bit έξοδο.

Διάτρηση (puncturing)

- Στο CS-1 τα 456 bit χωράνε ακριβώς σε ένα GSM block δηλαδή 4 GSM bursts.
- Στο CS-2 και CS-3 έχουμε 588 και 676 bits αντίστοιχα έτσι ώστε να επιτευχθεί υψηλότερη διεκπεραιότητα.
- Όπως γνωρίζουμε κάποια από αυτά τα bit είναι για προστασία από σφάλματα.
- Συγκεκριμένα 132/220 bits σε προκαθορισμένες θέσεις, τα οποία αφαιρούνται έτσι ώστε να έχουμε μόνο 456 bits προς εκπομπή. Αυτή η διαδικασία λέγεται διάτρηση (puncturing).
- Άμεσο συμπέρασμα από τα παραπάνω είναι ότι οι κωδικοποίηση CS-2 και CS-3 είναι πιο ευάλωτες στο θόρυβο και στις παρεμβολές και απαιτούν σημαντικά υψηλότερο C/I.



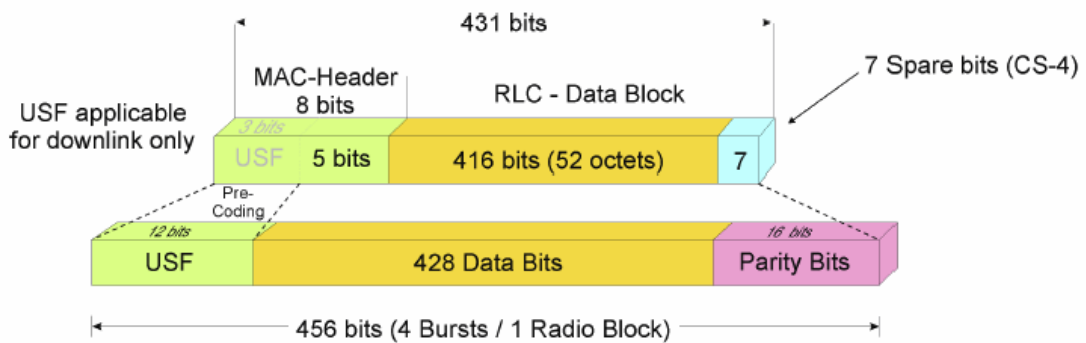
Σχήμα 3-11: Puncturing on CS-2 and CS-3



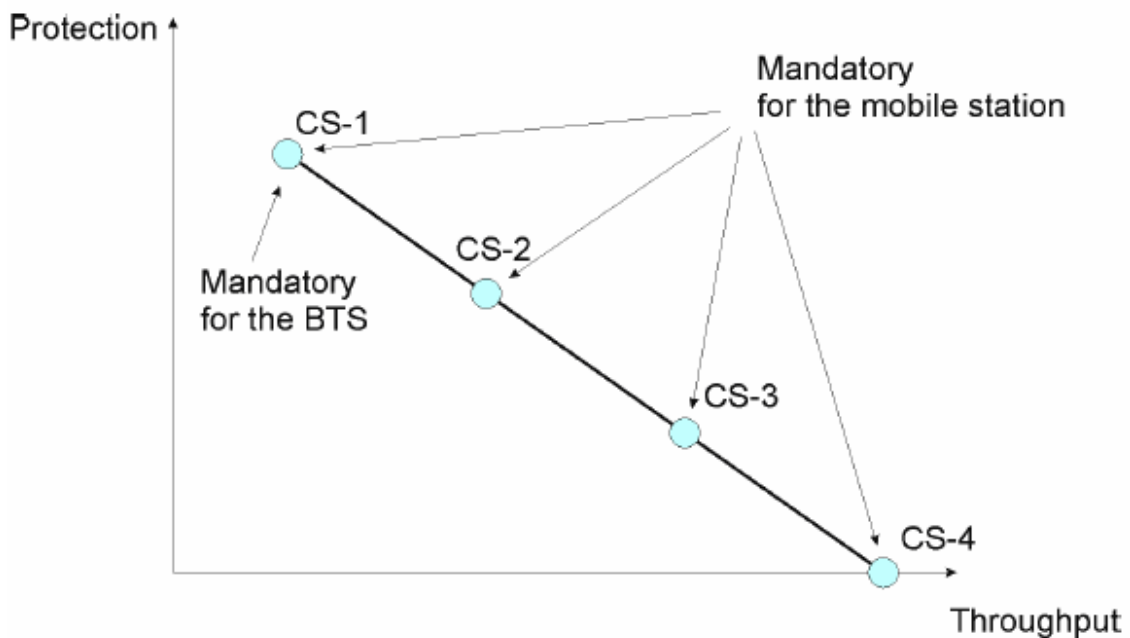
Σχήμα 3-12: Η δομή του CS-2 και CS-3

Λεπτομέρειες για το CS-4:

- Η τεχνική κωδικοποίησης του CS-4 χρησιμοποιεί 416 bits σαν είσοδο στον κωδικοποιητή έναντι 304 bits του CS-3.
- Όπως είναι κατανοητό δεν προσθέτονται αλλά bits κατά την κωδικοποίηση που έχει λόγο 1.
- Τα 416 bits + κωδικοποιημένα bits του USF προσαρτώνται από 16 bits ισοτιμίας στέλνονται στο κωδικοποιητή. Η κωδικοποίηση που χρησιμοποιείται είναι '0000' _{bin}.
- Δεν χρησιμοποιείται κωδικοποίηση διάτρησης.
- Όπως είναι προφανές το CS-4 είναι εντελώς εκτεθειμένο σε παρεμβολές και σφάλματα.
-

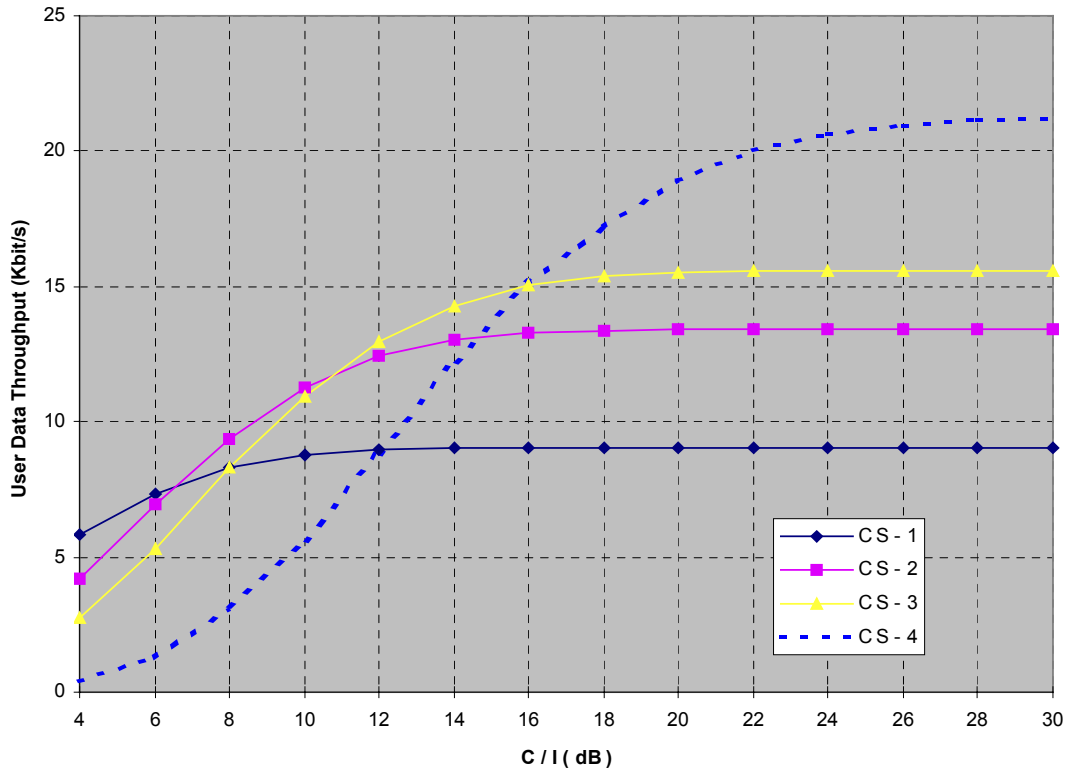


Σχήμα 3-13: Η δομή του CS-4



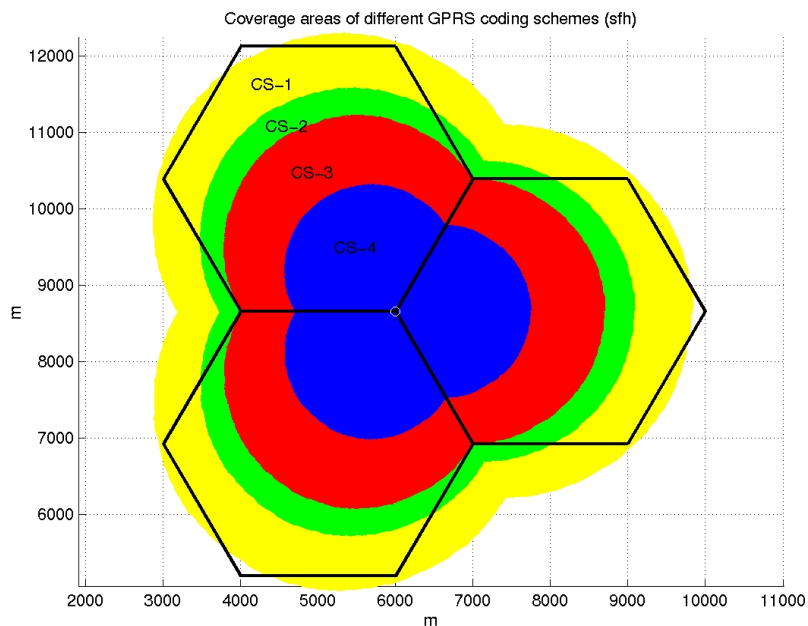
Σχήμα 3-14: Coding Scheme vs. Protection

Στο παρακάτω Διάγραμμα 3-1 μπορούμε να δούμε την διεκπεραιότητα για κάθε code scheme για C/I από 4 dB έως 30 dB.

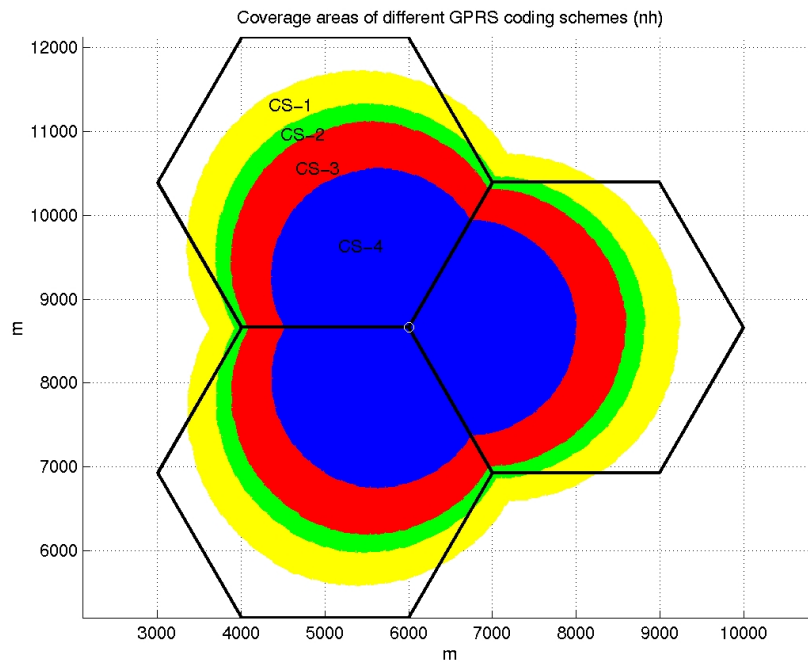


Διάγραμμα 3-1: SNR vs. Coding Scheme

Επίσης στα δυο παρακατω Σχήματα 3-15 και 3-16, μπορούμε να δουμε τις περιοχες καλυψης των διάφορων code schemes, με την χρησιμοποηση ή όχι διαπήδησης συχνοτητας (frequency hopping).

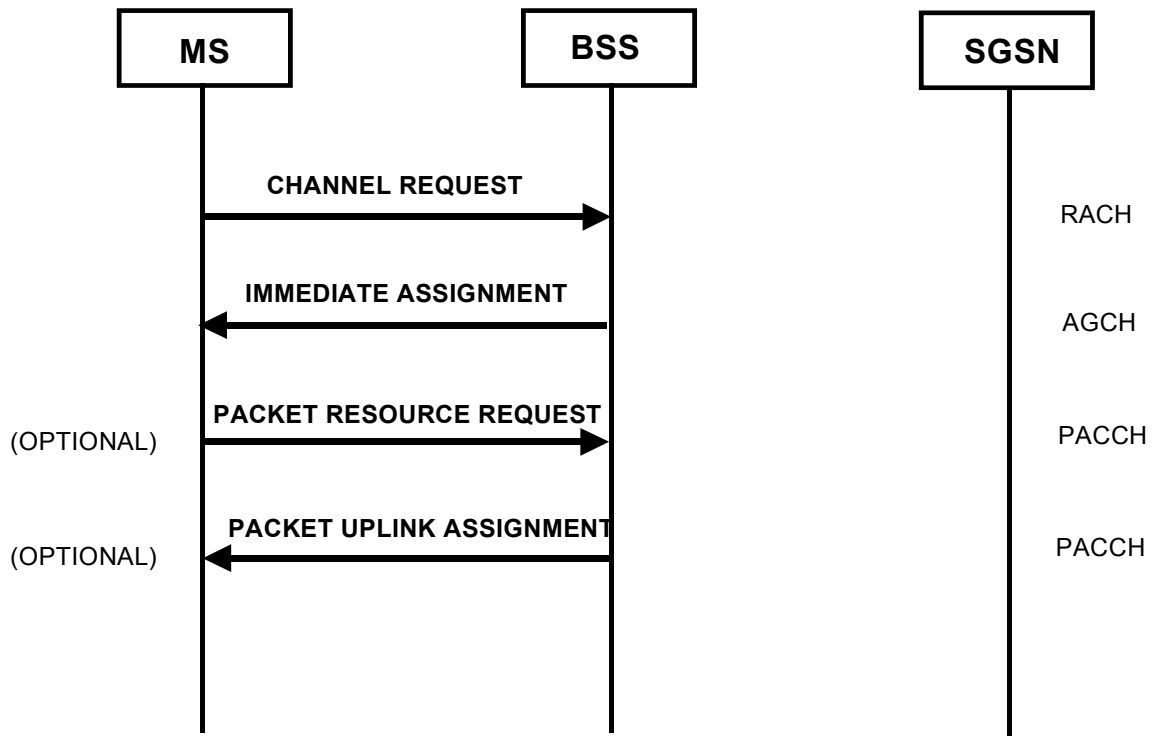


Σχήμα 3-15: GPRS coverage with frequency hopping

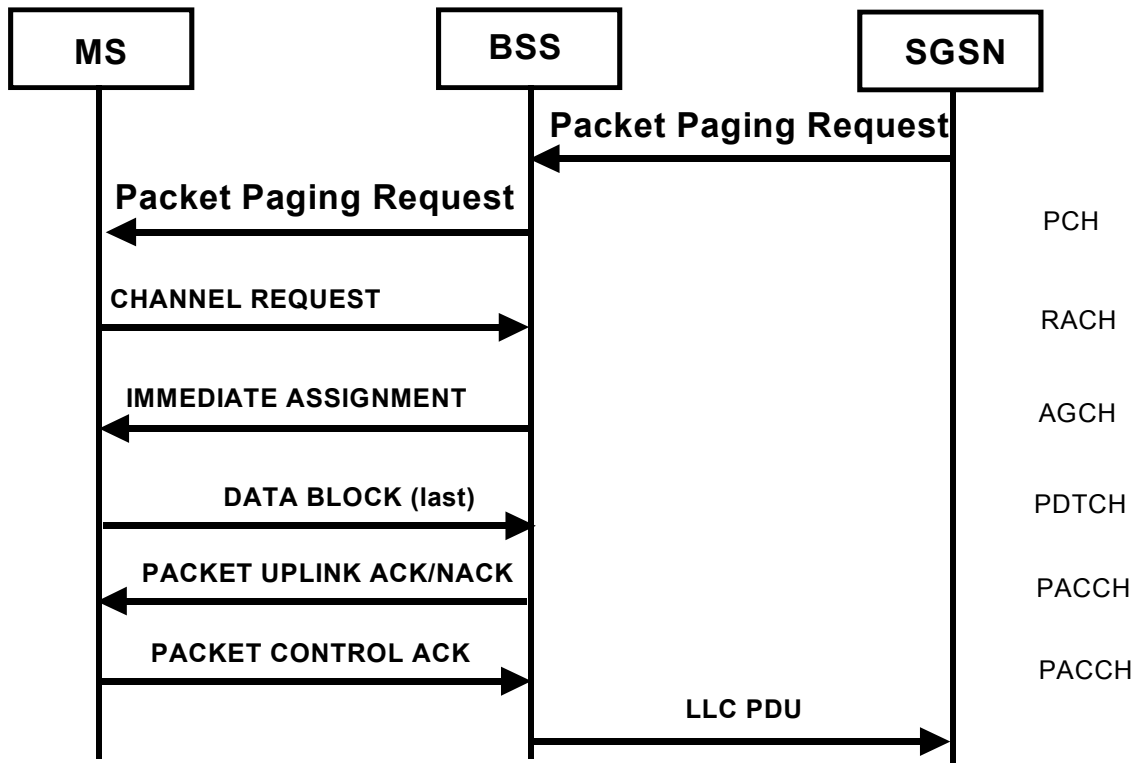


Σχήμα 3-16: GPRS coverage with frequency hopping

Στα παρακάτω Διαγράμματα 3-2 και 3-3 αλληλουχίας μπορούμε να δούμε τα ενδιάμεσα στάδια με όλα τα εμπλεκόμενα υποκανάλια, για την μεταφορά δεδομένων. Διακρίνουμε τα διαγράμματα για μεταφορά δεδομένων που έχει ξεκινήσει από το uplink και από το downlink.



Διαγράμματα 3-2: Packet Data Transfer: Uplink Initiated

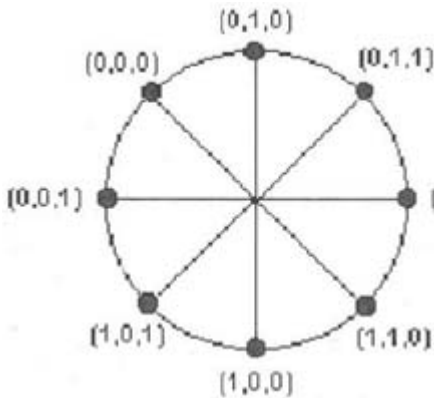


Διαγράμματα 3-3: Packet Data Transfer: Down Link Initiated

4 EDGE

4.1 Εισαγωγή

Το EDGE αποτελεί το επόμενο βήμα από το GPRS. Η τεχνολογία αυτή «πακέτα» δεδομένων, με όλα τα πλεονεκτήματα που αυτό συνεπάγεται, όπως ήδη έχει αναφερθεί. Η δομή του δικτύου είναι σχεδόν ίδια με αυτή του GPRS, για αυτό άλλωστε λέγεται και EGPRS, αλλά η διαφοροποίηση έγκειται στην διαφορετική χρησιμοποιούμενη τεχνική διαμόρφωσης, που εί-



να η (Διαμόρφωση 8-PSK), επιτυγχάνοντας, έτσι, πιο αποτελεσματική διαχείριση του διαθέσιμου φάσματος (μέχρι 59.2 kbps ανά timeslot) και ταχύτητες μετάδοσης της τάξης των 384 kbps. Οι Οργανισμοί θέσπισης προτύπων μελετούν το ενδεχόμενο επέκτασης του EDGE μέχρι τα 2 Mbps, για χρήση σε εσωτερικούς χώρους. Τα υπόλοιπα λειτουργικά χαρακτηριστικά του δικτύου (εύρος ζώνης φέροντος σήματος-200 KHz, η δομή των frames, καθώς και τα λογικά κανάλια) θα παραμείνουν αμετάβλητα. Όμως, εξαιτίας, κυρίως, της διαφορετικής τεχνικής διαμόρφωσης του σήματος, δε θα μπορεί να γίνει αντιστοίχιση ενός timeslot του air-interface (δηλα-

δή ανάμεσα στον κινητό συνδρομητή και το σταθμό βάσης) με μία χρονοθυρίδα του A-bis interface (δηλαδή ανάμεσα στο σταθμό βάσης και το BSC). Έτσι, απαιτείται η προσθήκη νέου υλικού (hardware - κυρίως σε μορφή καρτών) αλλά και λογισμικού (software) στους σταθμούς βάσης. Η διαμόρφωση που χρησιμοποιείται στο EDGE είναι το 8-PSK, επομένως εκπέμπονται 3 bits ανά σύμβολο. Στη διαμόρφωση αυτή, η απόδοση του συστήματος εξαρτάται τόσο από το περιβάλλον διάδοσης, όσο και από την ταχύτητα του συνδρομητή. Όπως στο GPRS, έτσι και στο EDGE ο ρυθμός μετάδοσης εξαρτάται από την τεχνική κωδικοποίησης Πίνακα 4-1.

Κωδικοποίηση	Ρυθμός Μετάδοσης ανά time-slot
MCS-5	22.4 kbps
MCS-6	29.6 kbps
MCS-7	44.8 kbps
MCS-8	59.2 kbps

Πίνακας 4-1: Υποστηριζόμενοι ρυθμοί ανά κανάλι από το EDGE

4.2 Λεπτομέρειες

Οι σταθμοί βάσης του EDGE διαθέτουν highly linear power amplifiers, MCPA (Multi-Carrier Power Amplifiers), καθώς και adaptive antennas ή smart antennas, έτσι ώστε να μπορούν να επιτευχθούν τα ανάλογα SNR. Είναι γεγονός ότι το EDGE χρειάζεται υψηλά C/I για να μπορέσει να λειτουργήσει. Με το EDGE, ο συνδρομητής μπορεί να απολαμβάνει ταυτόχρονη μετάδοση εικόνας και ήχου σε πραγματικό χρόνο, καθώς και άλλες on-line υπηρεσίες υψηλής ποιότητας, αφού ένα timeslot θα επαρκεί για πολλές real-time υπηρεσίες. Μια έκδοση του EDGE, προσαρμοσμένη στο GPRS, αποτελεί το EGPRS. Το EGPRS έχει την ίδια αρχιτεκτονική με το GPRS, αλλά με μερικές τροποποιήσεις στα πρωτόκολλα. Επίσης, παρέχει διαφοροποίηση στα χαρακτηριστικά του QoS (κυρίως για τις παραμέτρους που ρυθμίζουν τους ρυθμούς μετάδοσης). Υποστηρίζει 48 kbps ανά timeslot. Με το EGPRS η φασματική απόδοση διπλασιάζεται, συγκρινόμενη με το GPRS, όπως φαίνεται στον Πίνακα 4-2 που ακολουθεί.

Ρυθμός Μετάδοσης		
Συντελεστής Επανα-χρησιμοποίησης Συχνοτήτων	GPRS	EGPRS
4/12	63 kbps/MHz/cell	140 kbps/MHz/cell
3/9	79 kbps/MHz/cell	168 kbps/MHz/cell
1/3	174 kbps/MHz/cell	326 kbps/MHz/cell

Πίνακας 4-2: EDGE vs. GPRS

Όπως συμβαίνει και με το EDGE, η απόδοση του EGPRS εξαρτάται τόσο από το περιβάλλον διάδοσης, όσο και από την ταχύτητα του συνδρομητή, όπως φαίνεται στον παρακάτω Πίνακα 4-3.

EGPRS			
	Χαμηλές Ταχύτητες (κυρίως indoor)	Αστικές/Ημιαστικές (Outdoor)	Αγροτικές (Outdoor)
Ρυθμός Μετάδοσης	384 kbps (48kbps/timeslot)	384 kbps (48 kbps/timeslot)	144 kbps (16 kbps/timeslot)
Ταχύτητα	10 km/h	100 km/h	250 km/h

Πίνακας 4-3: Απόδοση EGPRS ανάλογα το περιβάλλον διάδοσης

Στον επόμενο Πίνακα 4-4, φαίνεται η αύξηση του αριθμού των ταυτόχρονα εξυπηρετούμενων συνδρομητών ανά TRX, με χρήση της τεχνολογίας EGPRS, συγκριτικά με το GPRS.

Αριθμός Συνδρομητών ανά TRX			
	14.4 kbps	28.8 kbps	56 kbps
GPRS	15	10	6
EGPRS	30	24	16

Πίνακας 4-4: Χωρητικότητα ανά TRX και τεχνολογία

Τρεις είναι οι προτεινόμενοι τύποι τερματικών, που χρησιμοποιούνται στο GPRS (καθώς επίσης και στα EGPRS, EDGE):

- Τερματικά που υποστηρίζουν, ταυτόχρονα, κλήσεις circuit-switched και packet-switched.
- Κλήσεις circuit-switched και packet-switched (διαθέτουν διεύθυνση IP και τηλεφωνικό νούμερο), αλλά δε θα μπορούν να κάνουν ταυτόχρονη χρήση και των δύο μεθόδων πρόσβασης.
- Τερματικά που θα υποστηρίζουν μόνο circuit-switched ή μόνο packet-switched κλήσεις.

Το κόστος για την εγκατάστασή του GPRS είναι σχετικά χαμηλό και οι αναγκαίες επενδύσεις δε ξεπερνούν το 11% της αξίας του υπάρχοντος εξοπλισμού GSM. Ο αριθμός των BTS αυξάνεται κατά 18% περίπου. Ειδικά στις αστικές περιοχές, απαιτείται αύξηση των micro-BTS κατά 20% περίπου, ενώ η ακτίνα των κυψελών στις αστικές περιοχές είναι -κατά μέσο όρο- μικρότερη των 100 μέτρων. Το χαμηλό κόστος εγκατάστασης του GPRS, σε συνδυασμό με την αναμενόμενη υψηλή ζήτηση των data υπηρεσιών, καθιστά τη μετάβαση από το GSM στο GPRS ιδιαίτερα σημαντική και πολλά υποσχόμενη.

5 *Dynamic SDCCH allocation*

Τα SDDCH (Stand Alone Dedicated Control Channel) είναι νοητά κανάλια αφιερωμένα μόνο στον έλεγχο και γενικά στη σηματοδότηση. Έτσι, χρησιμοποιούνται μόνο στην περίπτωση ενός call set-up για την ανάθεση ενός καναλιού κίνησης TCH και χρησιμοποιούνται όσο ανταλλάσσονται πληροφορίες ελέγχου. Επίσης, κατά την αποστολή γραπτών μηνυμάτων SMS, ενημέρωσης θέσης εντοπισμού (Location Update) και πιστοποίηση συνδρομητή, καθώς και κατά την ανταλλαγή κλειδίων κωδικοποίησης (ciphering), χρησιμοποιούνται αποκλειστικά κανάλια SDDCH. Το bit rate ενός τέτοιου νοητού διαύλου είναι 782 bit/s, που είναι πολύ χαμηλότερο απ' ό,τι ενός καναλιού κίνησης που μεταφέρει φωνή ή δεδομένα.

5.1 Εισαγωγή

Η μέθοδος dynamic SDDCH, ενεργοποιεί τον δυναμικό σχηματισμό επιπλέον καναλιών αφιερωμένων μόνο για έλεγχο και σηματοδότηση (Stand Alone Dedicated Control Channel) σύμφωνα με τις τρέχουσες απαιτήσεις κίνησης σε SDDCH σε ένα σταθμό βάσης. Πιο συγκεκριμένα, όταν σ' ένα BTS υπάρχει προσωρινή ζήτηση περισσότερων καναλιών σηματοδότησης (SDDCH) απ' όσα υπάρχουν μόνιμα, π.χ. λόγω αυξημένου αριθμού κλήσεων, αποστολής από πολλούς χρήστες συντόμων γραπτών μηνυμάτων SMS, Location Update, τότε είναι δυνατόν ένα αδρανές κανάλι κίνησης (TCH) να δοθεί για χρήση σηματοδότησης, έτσι ώστε ν' αντιμετωπιστεί αυτού του είδους η συμφόρηση. Αυτή η διαδικασία ενεργοποιείται από το BSC όπου ανήκει το BTS στο οποίο υπάρχει αυτή η συμφόρηση. Εννοείται ότι μετά από το πέρας του SDCCH congestion τα δυναμικά εκχωρηθέντα κανάλια σηματοδότησης ξανά σχηματίζουν πάλι ένα TCH.

Η παραπάνω διαδικασία εξυπηρετεί την αποσυμφόρηση του δικτύου σε περιπτώσεις όπου γίνεται προσωρινή υπερβολική χρήση καναλιών σηματοδότησης. Όπως αναφέραμε παραπάνω, στους λόγους ζήτησης SDDCH είναι και τα LU, όπου σε ειδικές τοποθεσίες όπως αεροδρόμια, λιμάνια και γενικά οποιοδήποτε busy spot, μπορεί να προκαλέσουν ξαφνική και συντόμου χρονικού διαστήματος ζήτηση καναλιών σηματοδότησης. Έτσι, με την παραπάνω μέθοδο, βρίσκονται πόροι με δυναμικό τρόπο, για να καλυφθεί αυτή η προσωρινά αυξημένη ζήτηση, χωρίς να υπάρχει ανάγκη να έχουν δεσμευτεί μόνιμα κανάλια σηματοδότησης, με μόνο σκοπό την εξυπηρέτηση αυτής της ειδικής περίπτωσης, όπου θα είχε επίπτωση στο utilization των πόρων, αφού θα περιορίζονταν τα κανάλια κίνησης.

Πρέπει να σημειώσουμε, ότι ο operator, θα πρέπει σε κάθε σταθμό βάσης να δίνει τον ελάχιστο αριθμό μόνιμων SDCCH, έτσι ώστε να καλύπτεται επαρκώς η κανονική ζήτηση καναλιών σηματοδότησης. Κι' αυτό, διότι έτσι έχουμε την καλύτερη αξιοποίηση των διαθέσιμων καναλιών κίνησης. Έτσι, τα επιπλέον δυναμικά εκχωρηθέντα κανάλια σηματοδότησης προσδιορίζονται μόνο όταν έχει δεσμευτεί και το τελευταίο SDCCH από το σύνολο των στατικά εκχωρηθέντων και υπάρχει επιπλέον ζήτηση. Εννοείται ότι τα δυναμικά SDCCH όταν ελευθερωθούν, αμέσως σχηματίζεται πάλι ένα κανάλι κίνησης. Δηλαδή, ο μέγιστος αριθμός καναλιών κίνησης εξαρτάται πάντα από την κίνηση στα κανάλια σηματοδότησης και έχουμε ως στόχο να δημιουργούμε όσο το δυνατό μικρότερο αριθμό στατικά αφιερωμένων καναλιών σηματοδότησης, έτσι ώστε να μην δεσμεύονται χωρίς λόγο κανάλια κίνησης, που είναι και οι πολυτιμότεροι πόροι ενός δικτύου.

5.2 Περιγραφή της μεθόδου

5.2.1 Ιδιότητες

Δυναμική δημιουργία SDCCH πόρων

Όταν έχει παρουσιαστεί επιπλέον ζήτηση καναλιών σηματοδοσίας σ' ένα BTS τότε μια αδρανής χρονοθυρίδα (radio timeslot RTSL) μπορεί να μετατραπεί από το αρμόδιο BSC σ' ένα νέο προσωρινό SDCCH. Κάθε νέο τέτοιο κανάλι σηματοδοσίας είναι πάντα ένα SDCCH/8. Δηλαδή καταλαμβάνει ένα ολόκληρο TCH.

Σημειώνουμε ότι οποιαδήποτε από τα αδρανή TCH, αφού πληρούν ορισμένες προϋποθέσεις που θα αναφερθούν παρακάτω, είναι δυνατόν να δοθούν για την δημιουργία ενός SDCCH, έτσι ώστε να έχουμε άμεση ανακούφιση του δικτύου όταν υπάρχει σε εξέλιξη μια συμφόρηση στα SDCCH. Επομένως, δεν υπάρχει ανάγκη για αναμονή, αλλά ούτε ανάγκη απελευθέρωσης ενός συγκεκριμένου καναλιού κίνησης.

Είναι επιθυμητό να έχουμε την μέγιστη χωρητικότητα καναλιών κίνησης πάντοτε. Έτσι, ο αριθμός των SDCCH είναι όσο το δυνατό πιο κοντά, στον αριθμό των καναλιών στον οποίο δημιουργείται συμφόρηση σε συγκεκριμένες περιπτώσεις. Ο βέλτιστος αυτός αριθμός επιτυγχάνεται όταν αυτή η διαμόρφωση γίνεται την στιγμή ενεργοποίησης ενός καναλιού. Το BTS ενημερώνεται γι' αυτό τον νέο ρόλο του αδρανούς RTSL, από το BSC με την εντολή Channel Activation.

Συμπερασματικά, όταν δεν υπάρχει ανάγκη για επιπλέον SDCCH, τα δυναμικά εκχωρηθέντα RTSL επιστρέφουν στο σύνολο των καναλιών κίνησης, όπως ήταν προ της συμφόρησης. Την στιγμή που όλα τα RTSL είναι ελεύθερα, το BTS κάνει την αναδιοργάνωση χωρίς να περιμένει κάποια εντολή από το BSC του. Έτσι, στο BTS ξεκινούν οι μετρήσεις παρεμβολών για τα αδρανή αυτά κανάλια που ανήκουν πια στο σύνολο των TCH. Και στο BSC ισχύουν τα ίδια.

Ακολουθούν τα κριτήρια επιλογής ενός αδρανούς RTSL για την δημιουργία ενός SCH/8:

- 1) Επιλέγεται το TRX όπου δεν έχει SDCCH ή αυτό που έχει τα λιγότερα. Αν υπάρχουν TRX που πληρούν τα ίδια παραπάνω κριτήρια, επιλέγεται αυτό που έχει τα λιγότερα σε λειτουργία κανάλια κίνησης TCHs.
- 2) Από το επιλεχθέν TRX επιλέγεται η χρονοθυρίδα με τις λιγότερες παρεμβολές στο up-link (δηλαδή στη συχνότητα που λαμβάνει το BTS).

Σημειώνουμε ότι αυτή η δυναμική ανακατανομή των νοητών διαύλων δεν έχει καμία επίπτωση στην διαμόρφωση των καναλιών του Abis interface που συνδέει το BTS με το BSC. Αναφέρουμε ότι σε περίπτωση όπου το BTS ανιχνεύει κάποιο λάθος στην τηλεπικοινωνιακή του σύνδεση με το υπόλοιπο δίκτυο, δηλαδή σφάλμα στο Abis interface, τότε απελευθερώνονται όλα τα ενεργά κανάλια του TRX με συνέπεια τα dynamic SDCCH/8 να ξαναγίνονται TCH. Η πληροφορία για την διαμόρφωση των χρονοθυρίδων λαμβάνεται από το BTS στο επόμενο Channel Activation που αποστέλλεται από το BSC. Δηλαδή, το BTS δέχεται πληροφορίες για να επιτάξει ένα αδρανές RTSL ως TCH ή SDCCH ανάλογα με το τι απαιτείται. Τέλος αν το BSC ανιχνεύσει σφάλμα σύνδεσης στο A interface, τότε δεσμεύεται το TRX. Όταν αποκατασταθεί η σύνδεση το TRX αποδεσμεύεται.

Κατανομή των SDCCH καναλιών

Οι αρχές οι οποίες ακολουθούνται όταν κατανέμεται ένα SDCCH ενός BTS είναι:

- 1) Ένα SDCCH εκχωρείται πάντα από ένα στατικό SDCCH αν υπάρχουν ελεύθερα κανάλια.
- 2) Όταν ένα SDCCH κανάλι εκχωρείται από τους δυναμικά εκχωρηθέντες SDCCH πόρους, τότε επιλέγεται εκείνο που έχει το μικρότερο αριθμό αδρανών εναπομείναντα SDCCH υπό-καναλιών.

5.2.2 Περιορισμοί

Είναι σημαντικό το γεγονός ότι οι δυναμικοί SDCCH πόροι είναι δυνατόν να σχηματιστούν μόνο όταν χρειάζεται να εκχωρηθεί ένα SDCCH για την εκκίνηση ενός call setup. Τονίζεται ότι κατά την διάρκεια μιας διαπομπής δεν επιτρέπεται να χρησιμοποιηθεί ένα δυναμικό SDCCH. Ωστόσο, όπως είναι γνωστό, είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν ελεύθερα στατικά SDCCH κανάλια στην κυψέλη όπου έχει ως στόχο μια διαδικασία διαπομπής. Σημειώνουμε ότι τα SDCCH που μεταφέρουν τα broadcast μηνύματα μέσω του υποδιαύλου CBCH δεν είναι δυνατό να εκχωρηθούν δυναμικά. Ο operator θα πρέπει να ρυθμίσει αρχικά τα SDCCHs τα οποία φέρουν CBCH σαν συνδυασμό CCCH/SDCCH, ενώ και οι δυο πόροι αναπαρίστανται σαν στατικοί πόροι στο Abis interface.

5.2.3 Χωρητικότητα

Μέγιστη χωρητικότητα SDCCH

Το ανώτατο όριο SDCCH καναλιών σ' ένα BSC εξαρτάται από τον αριθμό των TRXs που είναι συνδεδεμένα στην μονάδα BSC Signaling Unit (BCSU) και από τον αριθμό των BCSU που λειτουργούν σ' αυτό το BSC.

Έτσι, ο μέγιστος αριθμός καναλιών σηματοδοσίας υπολογίζεται σύμφωνα με τον παρακάτω τύπο:

$$Max_SDCCH_count_per_BCSU = 12 * Max_TRX_count_per_BCSU$$

Σημειώνεται, ότι στο Max_SDCCH_count_per_BCSU περιλαμβάνονται τα δυναμικά εκχωρηθέντα SDCCH όσο και τα στατικά SDCCH που έχουν καθοριστεί από τον operator αρχικά. Από τα παραπάνω συνεπάγεται ότι ο μέγιστος αριθμός SDCCH δίαυλων ανά TRX είναι 12. Ο αριθμός αυτός είναι ίδιος με το μέγιστο όριο στατικών καναλιών σηματοδοσίας που μπορεί να ορίσει ο operator σ' ένα TRX, χωρίς αυτά να μπορούν να χρησιμοποιηθούν από άλλα TRX του BTS. Σ' αντίθεση όμως με τα dynamic SDCCH όπου είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν απ' όλα τα TRX. Δηλαδή, το απόλυτο μέγιστο όριο SDCCH σ' ένα TRX δεν θα πρέπει να είναι πάνω από 16, με την προϋπόθεση ότι ένα από τα δυο SDCCH/8 είναι δυναμικό.

Οι περιορισμοί στην χωρητικότητα της 16 Kbit/s Telecom σύνδεσης σηματοδοσίας δημιουργούν επιπλέον δυσκολίες στον καθορισμό δυναμικών SDCCH. Έτσι, η χωρητικότητα της uplink σύνδεσης δεν είναι επαρκής σε μια περίπτωση αυξημένου φορτίου κίνησης. Επομένως, η κυριότερη αιτία για την απώλεια χωρητικότητας είναι η αύξηση του τηλεπικοινωνιακής κίνησης στην uplink σύνδεση.

Συνεπάγεται ότι ο αριθμός στατικών και δυναμικών SDCCH σ' ένα TRX είναι 12 υποδιαύλοι όταν χρησιμοποιείται Telecom σύνδεση σηματοδοσίας 16 Kbit/s, δηλαδή ένας συνδυασμός SDCCH/4 και SDCCH/8. Ενώ, σε TRXs που χρησιμοποιούν υψηλότερης χωρητικότητας σύνδεσης σηματοδοσίας όπως 32 Kbit/s ή 64 Kbit/s, μπορεί να έχουμε έως και 16 SDCCHs.

Ο περιορισμός των 12 SDCCHs είναι όταν σ' ένα TRX έχουμε διαθέσιμους 18 ραδιοδιαύλους, δηλαδή 12 SDCCHs και 6 TCHs. Αυτό όμως ισχύει σε περιπτώσεις όπου έχουμε FR ήEFR ρυθμούς, αν έχουμε HR τότε ο παραπάνω αριθμός SDCCHs μπορεί να υπερβεί τα 12 και κυμαίνεται από 8 έως και 24 SDCCHs και TCHs μαζί. Έτσι, όταν χρησιμοποιείται 16 Kbit/s δίκτυο σηματοδοσίας και υπάρχει δυνατότητα προαιρετικής δυναμικής εκχωρήσεις SDCCH, είναι δυνατό με HR να έχουμε έως και 18 συνολικά κανάλια.

Υπάρχουν τρεις εναλλακτικές περιπτώσεις:

- 1) Όταν το BCCH TRX έχει συνδυασμένα κανάλια ελέγχου και σηματοδοσίας CCCH/SDCCH, τότε δεν είναι δυνατόν να έχουμε χρήση HR καναλιών κίνησης.
- 2) Όταν ένα BCCH TRX δεν έχει συνδυασμένα κανάλια ελέγχου και σηματοδοσίας CCCH/SDCCH, τότε είναι δυνατόν να έχουμε 4 κανάλια κίνησης που υποστηρίζουν HR σ' ένα TRX.
- 3) Σε μη BCCH TRX μπορούν να καθοριστούν το μέγιστο 3 κανάλια κίνησης που υποστηρίζουν HR.

Με τον καθορισμό περισσότερων από 18 ραδιοδιαύλων σ' ένα TRX, προτιμάται να έχουμε μια 32 Kbit/s LAPD σύνδεση για να υποστηρίζεται η κίνηση σηματοδοσίας όταν έχουμε HR. Η υπερφόρτωση της σύνδεσης σηματοδοσίας μπορεί να παρακολουθηθεί από την υπηρεσία επίβλεψης της Telecom LAPD σύνδεσης της Abis διεπαφής, με την δυνατότητα ειδοποίησης σε περίπτωση υπερφόρτωσης, έτσι ώστε να γίνουν οι κατάλληλες κινήσεις για να μην υπάρξει απώλεια του δικτύου.

5.2.4 Αλληλεπίδραση με άλλα στοιχεία το δικτύου

Η δυναμική εκχώρηση SDCCH υποστηρίζεται από όλα τα BTS οποιασδήποτε γενιάς. Έτσι, δεν τίθενται περιορισμοί στο δίκτυο, ούτε χρειάζεται κάποια ανανέωση των BTS. Κάθε BSC ελέγχει αν το λογισμικό του BTS υποστηρίζει dynamic SDCCH allocation κάθε φορά που ο σταθμός κάνει επανεκκίνηση.

5.2.5 Αλληλεπίδραση με άλλα χαρακτηριστικά του δικτύου

FACCH call set-up εξαιτίας συμφόρησης στα SDCCH

Όταν η FACCH (Fast Associated Control Channel) έχει ενεργοποιηθεί εξαιτίας συμφόρησης στους διαύλους σηματοδοσίας, τότε το BTS αναθέτει TCH στο MT απευθείας, δηλαδή από το CCCH → TCH χωρίς την μεσολάβηση SDCCH. Δηλαδή, το ίδιο το κανάλι κίνησης μεταφέρει την πληροφορία σηματοδοσίας. Το σημαντικό είναι ότι αυτή η μέθοδος μπορεί να εφαρμοστεί ταυτόχρονα με την dynamic SDCCH allocation δίνοντας έτσι μια ευελιξία για την αντιμετώπιση διαφόρων ειδών κίνησης. Εν τούτοις, η dynamic SDCCH allocation χρησιμοποιείται σχεδόν πάντα όποτε παρίσταται ανάγκη για περισσότερους διαύλους σηματοδοσίας. Ενώ η FACCH εφαρμόζεται όταν έχουμε call set-up με πραγματική κατάσταση SDCCH congestion, δηλαδή όταν έχουν εξαντληθεί όλα τα SDCCH μαζί και με τα δυναμικά. Δηλαδή, όταν υπάρχει ανάγκη για ανάθεση ενός TCH και το BTS έχει μόνο ένα TCH σε idle κατάσταση τότε αυτό θα ανατεθεί με FACCH. Τονίζεται ότι ένα FACCH έχει πολύ μεγαλύτερο bitrate με αποτέλεσμα το call set-up να γίνεται πολύ πιο γρήγορα.

Εποπτεία του ραδιοδικτύου

Η εποπτεία του ραδιοδικτύου παρέχει πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο (real time) για τις λειτουργίες και τα καθήκοντα των SDCCHs και TCHs. Τα δεδομένα της επίβλεψης, από την δυναμική εκχώρηση SDCCH, διατηρούνται μόνο κατά την διάρκεια που υπάρχουν dynamic SDCCH. Έτσι, στο τέλος κάθε περιόδου επίβλεψης, τα δεδομένα είναι διαθέσιμα μόνο για τα SDCCHs τα οποία δεν έχουν επιστρέψει σε TCH. Δηλαδή, τα δεδομένα επίβλεψης αυτών των SDCCHs διαχειρίζονται σαν να ήταν στατικά. Ενώ τα δεδομένα επίβλεψης για τα TCH διατηρούνται ακόμα και αν αυτά έχουν εκχωρηθεί δυναμικά για ένα SDCCH/8.

GPRS (General Packet Radio Service)

Όταν σε ένα δίκτυο λειτουργεί η υπηρεσία GPRS, τότε το BTS, στο οποίο γίνεται αίτηση εκχώρησης ενός SDCCH καναλιού, έχει χωρίσει τους πόρους σε κανάλια κίνησης TCHs σε δυο κατηγορίες. Η μια κατηγορία είναι κανάλια κίνησης τα οποία χρησιμοποιούνται αποκλειστικά για μεταγωγή κυκλώματος (circuit switched ή CS) και η άλλη κατηγορία είναι τα TCH που είναι διαθέσιμα για μεταγωγή πακέτου (packet switched ή PS), σύμφωνα με την υπηρεσία GPRS. Το αρμόδιο BSC διαλέγει πάντα ένα RTSL TCH από το σύνολο των CS έτσι ώστε να εκχωρήσει δυναμικά ένα SDCCH/8.

5.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της μεθόδου

Η μέθοδος dynamic SDCCH allocation έχει το πλεονέκτημα ότι σε περιπτώσεις υπερβολικά μεγάλης ζήτησης καναλιών σηματοδοσίας, προσφέρει επιπλέον πόρους σηματοδοσίας, έτσι ώστε να ξεπεραστεί η στιγμιαία συμφόρηση. Και αυτό διότι αν είχαμε στατικά δεσμευμένους τους πόρους τους συστήματος, έτσι ώστε να εξυπηρετείται τέτοιου είδους συμφόρηση, θα είχαμε πολύ κακό utilization των πόρων του δικτύου, μιας και θα δεσμεύονταν TCH χωρίς λόγο συνεχώς.

Όταν χρησιμοποιείται σ' ένα BTS ένα επιπλέον TRX για λόγους εφεδρείας, είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί αυτό, έτσι ώστε να αυξηθεί η χωρητικότητα. Όμως, σ' αυτό το TRX δεν επιτρέπεται να δοθούν στατικά SDCCH, αφού άλλωστε αυτό δεν είναι πάντα σε λειτουργία, παρά μόνο dynamic SDCCH κανάλια. Αλλιώς, όταν συμβεί βλάβη σ' ένα TRX ενός π.χ. από τους τρεις τομείς (sectors) της κυψέλης, τότε, στο επιπλέον TRX που θα πάρει την θέση του ελαττωματικού, θα αποδοθούν δυναμικά τα ίδια κανάλια σηματοδοσίας που υπήρχαν σ' αυτό που αντικαταστάθηκε. Έτσι, το επιπλέον TRX είναι ισότιμο με τα άλλα TRX. Όταν υποστηρίζεται η μετακίνηση του εφεδρικού TRX ανά τομέα, τότε τα χαμένα δυναμικά SDCCH μπορούν να ανακαθοριστούν από τα εναπομείναντα, εφόσον αυτά δεν έχουν 12 ή 16 ήδη SDCCHs.

Τα ISDN Abis TRXs μεταχειρίζονται την dynamic SDCCHs allocation ισότιμα με τα TRXs, τα οποία έχουν σταθερό bitrate 2 Mbit/s.

Σε BTS όπου καλύπτουν μια εκτεταμένη και μια κανονική περιοχή, η dynamic SDCCH allocation μπορεί να εφαρμοστεί σ' όλα τα TRX. Ο προσδιορισμός του TRX που χρησιμοποιείται βασίζεται στη θέση (περιοχή κάλυψης) του MT που επιχειρεί πρόσβαση στο BTS.

Ένα μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι τα δυναμικά SDCCH δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε περίπτωση διαπομπής. Επίσης, τα δυναμικά κανάλια σηματοδοσίας είναι πάντα SDCCH/8, όποτε σε περίπτωση απαίτησης μόνο ενός επιπλέον SDCCH από τα στατικά, το σύστημα στερείται ένα ολόκληρο TCH. Δηλαδή, δεν υπάρχει δυνατότητα ή καλύτερα μεγάλη ευελιξία στη δημιουργία ενός μόνο SDCCH ή έστω ενός SDCCH/4 και ενός TCH/HR, έτσι ώστε να μην δημιουργείται πρόβλημα στην αξιοποίηση (utilization) των TCHs. Τέτοιες περιπτώσεις ίσως αντιμετωπίζονται με την μέθοδο FACCH εφόσον το επιπλέον SDCCH θα είναι για call set-up. (Κοιτά την μέθοδο FACCH).

5.4 Παράδειγμα

Δομή των υποδιαύλων στο BTS

Έστω ένα BTS με 3 TRXs. Πριν το dynamic SDCCH allocation, παρατηρούμε ότι το BTS έχει συνολικά 20 SDCCH (SDDCH/4 + SDCCH/8 + SDCCH/8) και 6 TCHs.

Σενάριο συμφόρησης

Έστω ότι σε μια χρονική στιγμή έχουμε απότομη αύξηση σε απαιτήσεις καναλιών σηματοδοσίας.

Επίλυση της συμφόρησης

Αφού καταληφθεί και το τελευταίο στατικό SDCCH κανάλι και υπάρχει απαίτηση και για αλλά κανάλια σηματοδοσίας, το TRX με τα λιγότερα SDCCH κανάλια αποκτά ένα SDCCH/8 στο RTSL με τις λιγότερες παρεμβολές στην uplink σύνδεση. Έστω ότι το RTSL 3 του TRX2 έχει τις λιγότερες παρεμβολές στην uplink σύνδεση.

Ακολουθούν οι διατάξεις με τα λογικά κανάλια του BTS πριν και μετά την επίλυση της συμφόρησης.

FN	TS0	TS1	FN	TS2	TS3	TS4	TS5	TS6	TS7
0	FCCH	SDCCH 0	0	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
1	SCH	SDCCH 0	1	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
2	BCCH 1	SDCCH 0	2	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
3	BCCH 2	SDCCH 0	3	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
4	BCCH 3	SDCCH 1	4	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
5	BCCH 4	SDCCH 1	5	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
6	AGCH/PCH	SDCCH 1	6	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
7	AGCH/PCH	SDCCH 1	7	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
8	AGCH/PCH	SDCCH 2	8	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
9	AGCH/PCH	SDCCH 2	9	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
10	FCCH	SDCCH 2	10	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
11	SCH	SDCCH 2	11	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
12	AGCH/PCH	SDCCH 3	12	SACCH	SACCH	SACCH	SACCH	SACCH	SACCH
13	AGCH/PCH	SDCCH 3	13	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
14	AGCH/PCH	SDCCH 3	14	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
15	AGCH/PCH	SDCCH 3	15	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
16	AGCH/PCH	SDCCH 4	16	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
17	AGCH/PCH	SDCCH 4	17	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
18	AGCH/PCH	SDCCH 4	18	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
19	AGCH/PCH	SDCCH 4	19	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
20	FCCH	SDCCH 5	20	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
21	SCH	SDCCH 5	21	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
22	SDCCH 0	SDCCH 5	22	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
23	SDCCH 0	SDCCH 5	23	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
24	SDCCH 0	SDCCH 6	24	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
25	SDCCH 0	SDCCH 6	25						
26	SDCCH 1	SDCCH 6	0	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
27	SDCCH 1	SDCCH 6	1	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
28	SDCCH 1	SDCCH 7	2	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
29	SDCCH 1	SDCCH 7	3	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
30	FCCH	SDCCH 7	4	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
31	SCH	SDCCH 7	5	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
32	SDCCH 2	SACCH 0	6	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
33	SDCCH 2	SACCH 0	7	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
34	SDCCH 2	SACCH 0	8	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
35	SDCCH 2	SACCH 0	9	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
36	SDCCH 3	SACCH 1	10	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
37	SDCCH 3	SACCH 1	11	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
38	SDCCH 3	SACCH 1	12	SACCH	SACCH	SACCH	SACCH	SACCH	SACCH
39	SDCCH 3	SACCH 1	13	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
40	FCCH	SACCH 2	14	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
41	SCH	SACCH 2	15	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
42	SACCH 0	SACCH 2	16	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
43	SACCH 0	SACCH 2	17	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
44	SACCH 0	SACCH 3	18	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
45	SACCH 0	SACCH 3	19	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
46	SACCH 1	SACCH 3	20	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
47	SACCH 1	SACCH 3	21	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
48	SACCH 1		22	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
49	SACCH 1		23	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
50			24	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
			25						

Downlink

Broadcast TRX

Uplink

FN	TS0	TS1	FN	TS2	TS3	TS4	TS5	TS6	TS7
0	SDCCH 3	SACCH 1	0	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
1	SDCCH 3	SACCH 1	1	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
2	SDCCH 3	SACCH 1	2	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
3	SDCCH 3	SACCH 1	3	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
4	RACH	SACCH 2	4	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
5	RACH	SACCH 2	5	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
6	SACCH 2	SACCH 2	6	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
7	SACCH 2	SACCH 2	7	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
8	SACCH 2	SACCH 3	8	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
9	SACCH 2	SACCH 3	9	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
10	SACCH 3	SACCH 3	10	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
11	SACCH 3	SACCH 3	11	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
12	SACCH 3		12	SACCH	SACCH	SACCH	SACCH	SACCH	SACCH
13	SACCH 3		13	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
14	RACH		14	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
15	RACH	SDCCH 0	15	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
16	RACH	SDCCH 0	16	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
17	RACH	SDCCH 0	17	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
18	RACH	SDCCH 0	18	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
19	RACH	SDCCH 1	19	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
20	RACH	SDCCH 1	20	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
21	RACH	SDCCH 1	21	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
22	RACH	SDCCH 1	22	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
23	RACH	SDCCH 2	23	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
24	RACH	SDCCH 2	24	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
25	RACH	SDCCH 2	25						
26	RACH	SDCCH 2	0	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
27	RACH	SDCCH 3	1	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
28	RACH	SDCCH 3	2	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
29	RACH	SDCCH 3	3	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
30	RACH	SDCCH 3	4	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
31	RACH	SDCCH 4	5	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
32	RACH	SDCCH 4	6	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
33	RACH	SDCCH 4	7	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
34	RACH	SDCCH 4	8	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
35	RACH	SDCCH 5	9	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
36	RACH	SDCCH 5	10	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
37	SDCCH 0	SDCCH 5	11	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
38	SDCCH 0	SDCCH 5	12	SACCH	SACCH	SACCH	SACCH	SACCH	SACCH
39	SDCCH 0	SDCCH 6	13	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
40	SDCCH 0	SDCCH 6	14	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
41	SDCCH 1	SDCCH 6	15	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
42	SDCCH 1	SDCCH 6	16	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
43	SDCCH 1	SDCCH 7	17	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
44	SDCCH 1	SDCCH 7	18	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
45	RACH	SDCCH 7	19	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
46	RACH	SDCCH 7	20	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
47	SDCCH 2	SACCH 0	21	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
48	SDCCH 2	SACCH 0	22	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
49	SDCCH 2	SACCH 0	23	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
50	SDCCH 2	SACCH 0	24	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
			25						

Διδακτορική Διατριβή

FN	TS0	FN	TS1	TS2	TS3	TS4	TS5	TS6	TS7
0	SDCCH 0	0	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
1	SDCCH 0	1	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
2	SDCCH 0	2	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
3	SDCCH 0	3	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
4	SDCCH 1	4	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
5	SDCCH 1	5	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
6	SDCCH 1	6	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
7	SDCCH 1	7	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
8	SDCCH 2	8	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
9	SDCCH 2	9	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
10	SDCCH 2	10	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
11	SDCCH 2	11	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
12	SDCCH 3	12	SACCH	SACCH	SACCH	SACCH	SACCH	SACCH	SACCH
13	SDCCH 3	13	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
14	SDCCH 3	14	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
15	SDCCH 3	15	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
16	SDCCH 4	16	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
17	SDCCH 4	17	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
18	SDCCH 4	18	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
19	SDCCH 4	19	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
20	SDCCH 5	20	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
21	SDCCH 5	21	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
22	SDCCH 5	22	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
23	SDCCH 5	23	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
24	SDCCH 6	24	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
25	SDCCH 6	25							
26	SDCCH 6	0	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
27	SDCCH 6	1	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
28	SDCCH 7	2	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
29	SDCCH 7	3	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
30	SDCCH 7	4	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
31	SDCCH 7	5	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
32	SACCH 0	6	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
33	SACCH 0	7	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
34	SACCH 0	8	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
35	SACCH 0	9	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
36	SACCH 1	10	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
37	SACCH 1	11	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
38	SACCH 1	12	SACCH	SACCH	SACCH	SACCH	SACCH	SACCH	SACCH
39	SACCH 1	13	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
40	SACCH 2	14	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
41	SACCH 2	15	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
42	SACCH 2	16	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
43	SACCH 2	17	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
44	SACCH 3	18	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
45	SACCH 3	19	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
46	SACCH 3	20	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
47	SACCH 3	21	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
48		22	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
49		23	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
50		24	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
		25							

Downlink

TRX1
(SDCCH/8 + 7 TCHs)

Uplink

FN	TS0	FN	TS1	TS2	TS3	TS4	TS5	TS6	TS7
0	SACCH 1	0	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
1	SACCH 1	1	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
2	SACCH 1	2	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
3	SACCH 1	3	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
4	SACCH 2	4	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
5	SACCH 2	5	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
6	SACCH 2	6	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
7	SACCH 2	7	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
8	SACCH 3	8	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
9	SACCH 3	9	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
10	SACCH 3	10	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
11	SACCH 3	11	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
12		12	SACCH	SACCH	SACCH	SACCH	SACCH	SACCH	SACCH
13		13	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
14		14	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
15	SDCCH 0	15	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
16	SDCCH 0	16	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
17	SDCCH 0	17	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
18	SDCCH 0	18	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
19	SDCCH 1	19	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
20	SDCCH 1	20	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
21	SDCCH 1	21	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
22	SDCCH 1	22	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
23	SDCCH 2	23	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
24	SDCCH 2	24	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
25	SDCCH 2	25							
26	SDCCH 2	0	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
27	SDCCH 3	1	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
28	SDCCH 3	2	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
29	SDCCH 3	3	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
30	SDCCH 3	4	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
31	SDCCH 4	5	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
32	SDCCH 4	6	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
33	SDCCH 4	7	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
34	SDCCH 4	8	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
35	SDCCH 5	9	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
36	SDCCH 5	10	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
37	SDCCH 5	11	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
38	SDCCH 5	12	SACCH	SACCH	SACCH	SACCH	SACCH	SACCH	SACCH
39	SDCCH 6	13	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
40	SDCCH 6	14	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
41	SDCCH 6	15	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
42	SDCCH 6	16	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
43	SDCCH 7	17	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
44	SDCCH 7	18	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
45	SDCCH 7	19	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
46	SDCCH 7	20	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
47	SACCH 0	21	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
48	SACCH 0	22	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
49	SACCH 0	23	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
50	SACCH 0	24	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
		25							

FN	TS0	TS1	TS2	FN	TS3	FN	TS4	TS5	TS6	TS7
0	TCH	TCH	TCH	0	SDCCH 0	0	TCH	TCH	TCH	TCH
1	TCH	TCH	TCH	1	SDCCH 0	1	TCH	TCH	TCH	TCH
2	TCH	TCH	TCH	2	SDCCH 0	2	TCH	TCH	TCH	TCH
3	TCH	TCH	TCH	3	SDCCH 0	3	TCH	TCH	TCH	TCH
4	TCH	TCH	TCH	4	SDCCH 1	4	TCH	TCH	TCH	TCH
5	TCH	TCH	TCH	5	SDCCH 1	5	TCH	TCH	TCH	TCH
6	TCH	TCH	TCH	6	SDCCH 1	6	TCH	TCH	TCH	TCH
7	TCH	TCH	TCH	7	SDCCH 1	7	TCH	TCH	TCH	TCH
8	TCH	TCH	TCH	8	SDCCH 2	8	TCH	TCH	TCH	TCH
9	TCH	TCH	TCH	9	SDCCH 2	9	TCH	TCH	TCH	TCH
10	TCH	TCH	TCH	10	SDCCH 2	10	TCH	TCH	TCH	TCH
11	TCH	TCH	TCH	11	SDCCH 2	11	TCH	TCH	TCH	TCH
12	SACCH	SACCH	SACCH	12	SDCCH 3	12	SACCH	SACCH	SACCH	SACCH
13	TCH	TCH	TCH	13	SDCCH 3	13	TCH	TCH	TCH	TCH
14	TCH	TCH	TCH	14	SDCCH 3	14	TCH	TCH	TCH	TCH
15	TCH	TCH	TCH	15	SDCCH 3	15	TCH	TCH	TCH	TCH
16	TCH	TCH	TCH	16	SDCCH 4	16	TCH	TCH	TCH	TCH
17	TCH	TCH	TCH	17	SDCCH 4	17	TCH	TCH	TCH	TCH
18	TCH	TCH	TCH	18	SDCCH 4	18	TCH	TCH	TCH	TCH
19	TCH	TCH	TCH	19	SDCCH 4	19	TCH	TCH	TCH	TCH
20	TCH	TCH	TCH	20	SDCCH 5	20	TCH	TCH	TCH	TCH
21	TCH	TCH	TCH	21	SDCCH 5	21	TCH	TCH	TCH	TCH
22	TCH	TCH	TCH	22	SDCCH 5	22	TCH	TCH	TCH	TCH
23	TCH	TCH	TCH	23	SDCCH 5	23	TCH	TCH	TCH	TCH
24	TCH	TCH	TCH	24	SDCCH 6	24	TCH	TCH	TCH	TCH
25				25	SDCCH 6	25				
0	TCH	TCH	TCH	26	SDCCH 6	0	TCH	TCH	TCH	TCH
1	TCH	TCH	TCH	27	SDCCH 6	1	TCH	TCH	TCH	TCH
2	TCH	TCH	TCH	28	SDCCH 7	2	TCH	TCH	TCH	TCH
3	TCH	TCH	TCH	29	SDCCH 7	3	TCH	TCH	TCH	TCH
4	TCH	TCH	TCH	30	SDCCH 7	4	TCH	TCH	TCH	TCH
5	TCH	TCH	TCH	31	SDCCH 7	5	TCH	TCH	TCH	TCH
6	TCH	TCH	TCH	32	SACCH 0	6	TCH	TCH	TCH	TCH
7	TCH	TCH	TCH	33	SACCH 0	7	TCH	TCH	TCH	TCH
8	TCH	TCH	TCH	34	SACCH 0	8	TCH	TCH	TCH	TCH
9	TCH	TCH	TCH	35	SACCH 0	9	TCH	TCH	TCH	TCH
10	TCH	TCH	TCH	36	SACCH 1	10	TCH	TCH	TCH	TCH
11	TCH	TCH	TCH	37	SACCH 1	11	TCH	TCH	TCH	TCH
12	SACCH	SACCH	SACCH	38	SACCH 1	12	SACCH	SACCH	SACCH	SACCH
13	TCH	TCH	TCH	39	SACCH 1	13	TCH	TCH	TCH	TCH
14	TCH	TCH	TCH	40	SACCH 2	14	TCH	TCH	TCH	TCH
15	TCH	TCH	TCH	41	SACCH 2	15	TCH	TCH	TCH	TCH
16	TCH	TCH	TCH	42	SACCH 2	16	TCH	TCH	TCH	TCH
17	TCH	TCH	TCH	43	SACCH 2	17	TCH	TCH	TCH	TCH
18	TCH	TCH	TCH	44	SACCH 3	18	TCH	TCH	TCH	TCH
19	TCH	TCH	TCH	45	SACCH 3	19	TCH	TCH	TCH	TCH
20	TCH	TCH	TCH	46	SACCH 3	20	TCH	TCH	TCH	TCH
21	TCH	TCH	TCH	47	SACCH 3	21	TCH	TCH	TCH	TCH
22	TCH	TCH	TCH	48		22	TCH	TCH	TCH	TCH
23	TCH	TCH	TCH	49		23	TCH	TCH	TCH	TCH
24	TCH	TCH	TCH	50		24	TCH	TCH	TCH	TCH
25				25		25				

Downlink

TRX2 new

(Dynamic allocated SDCCH/8 + 7 TCHs)

FN	TS0	TS1	TS2	FN	TS3	FN	TS4	TS5	TS6	TS7
0	TCH	TCH	TCH	0	SACCH 1	0	TCH	TCH	TCH	TCH
1	TCH	TCH	TCH	1	SACCH 1	1	TCH	TCH	TCH	TCH
2	TCH	TCH	TCH	2	SACCH 1	2	TCH	TCH	TCH	TCH
3	TCH	TCH	TCH	3	SACCH 1	3	TCH	TCH	TCH	TCH
4	TCH	TCH	TCH	4	SACCH 2	4	TCH	TCH	TCH	TCH
5	TCH	TCH	TCH	5	SACCH 2	5	TCH	TCH	TCH	TCH
6	TCH	TCH	TCH	6	SACCH 2	6	TCH	TCH	TCH	TCH
7	TCH	TCH	TCH	7	SACCH 2	7	TCH	TCH	TCH	TCH
8	TCH	TCH	TCH	8	SACCH 3	8	TCH	TCH	TCH	TCH
9	TCH	TCH	TCH	9	SACCH 3	9	TCH	TCH	TCH	TCH
10	TCH	TCH	TCH	10	SACCH 3	10	TCH	TCH	TCH	TCH
11	TCH	TCH	TCH	11	SACCH 3	11	TCH	TCH	TCH	TCH
12	SACCH	SACCH	SACCH	12		12	SACCH	SACCH	SACCH	SACCH
13	TCH	TCH	TCH	13		13	TCH	TCH	TCH	TCH
14	TCH	TCH	TCH	14		14	TCH	TCH	TCH	TCH
15	TCH	TCH	TCH	15	SDCCH 0	15	TCH	TCH	TCH	TCH
16	TCH	TCH	TCH	16	SDCCH 0	16	TCH	TCH	TCH	TCH
17	TCH	TCH	TCH	17	SDCCH 0	17	TCH	TCH	TCH	TCH
18	TCH	TCH	TCH	18	SDCCH 0	18	TCH	TCH	TCH	TCH
19	TCH	TCH	TCH	19	SDCCH 1	19	TCH	TCH	TCH	TCH
20	TCH	TCH	TCH	20	SDCCH 1	20	TCH	TCH	TCH	TCH
21	TCH	TCH	TCH	21	SDCCH 1	21	TCH	TCH	TCH	TCH
22	TCH	TCH	TCH	22	SDCCH 1	22	TCH	TCH	TCH	TCH
23	TCH	TCH	TCH	23	SDCCH 2	23	TCH	TCH	TCH	TCH
24	TCH	TCH	TCH	24	SDCCH 2	24	TCH	TCH	TCH	TCH
25				25	SDCCH 2	25				
0	TCH	TCH	TCH	26	SDCCH 2	0	TCH	TCH	TCH	TCH
1	TCH	TCH	TCH	27	SDCCH 3	1	TCH	TCH	TCH	TCH
2	TCH	TCH	TCH	28	SDCCH 3	2	TCH	TCH	TCH	TCH
3	TCH	TCH	TCH	29	SDCCH 3	3	TCH	TCH	TCH	TCH
4	TCH	TCH	TCH	30	SDCCH 3	4	TCH	TCH	TCH	TCH
5	TCH	TCH	TCH	31	SDCCH 4	5	TCH	TCH	TCH	TCH
6	TCH	TCH	TCH	32	SDCCH 4	6	TCH	TCH	TCH	TCH
7	TCH	TCH	TCH	33	SDCCH 4	7	TCH	TCH	TCH	TCH
8	TCH	TCH	TCH	34	SDCCH 4	8	TCH	TCH	TCH	TCH
9	TCH	TCH	TCH	35	SDCCH 5	9	TCH	TCH	TCH	TCH
10	TCH	TCH	TCH	36	SDCCH 5	10	TCH	TCH	TCH	TCH
11	TCH	TCH	TCH	37	SDCCH 5	11	TCH	TCH	TCH	TCH
12	SACCH	SACCH	SACCH	38	SDCCH 5	12	SACCH	SACCH	SACCH	SACCH
13	TCH	TCH	TCH	39	SDCCH 6	13	TCH	TCH	TCH	TCH
14	TCH	TCH	TCH	40	SDCCH 6	14	TCH	TCH	TCH	TCH
15	TCH	TCH	TCH	41	SDCCH 6	15	TCH	TCH	TCH	TCH
16	TCH	TCH	TCH	42	SDCCH 6	16	TCH	TCH	TCH	TCH
17	TCH	TCH	TCH	43	SDCCH 7	17	TCH	TCH	TCH	TCH
18	TCH	TCH	TCH	44	SDCCH 7	18	TCH	TCH	TCH	TCH
19	TCH	TCH	TCH	45	SDCCH 7	19	TCH	TCH	TCH	TCH
20	TCH	TCH	TCH	46	SDCCH 7	20	TCH	TCH	TCH	TCH
21	TCH	TCH	TCH	47	SACCH 0	21	TCH	TCH	TCH	TCH
22	TCH	TCH	TCH	48	SACCH 0	22	TCH	TCH	TCH	TCH
23	TCH	TCH	TCH	49	SACCH 0	23	TCH	TCH	TCH	TCH
24	TCH	TCH	TCH	50	SACCH 0	24	TCH	TCH	TCH	TCH
25				25		25				

Uplink

6 FACCH Call Set-up

6.1 Εισαγωγή

Τα κανάλια μεταφοράς έλεγχου (ACCH Associated Control Channels), μπορεί να είναι αργής (SACH) ή γρήγορης (FACCH) μεταφοράς. Τα κανάλια γρήγορης μεταφοράς έλεγχου χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο για διαπομπές. Ένα FACCH είναι 20 ms του χρόνου ενός TCH και στην ουσία «κλέβει» χρόνο από την ομιλία. Συγκρινόμενο με τα SACCH έχει πολύ μεγαλύτερη χωρητικότητα και λιγότερες καθυστερήσεις. Επιπρόσθετα έχουμε FACCH/HR και FACCH/FR.

Η μέθοδος FACCH, δηλαδή εγκατάσταση σύνδεσης με διάυλο γρήγορης μεταφοράς ελέγχου, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε περίπτωση συμφόρησης στα SDCCH, ακόμα και στην περίπτωση όπου έχουν εξαντληθεί και οι τελευταίοι ελεύθεροι δυναμικά εκχωρηθέντες SDCCH διάυλοι. Έτσι, αν μια προσπάθεια για ανάθεση SDCCH αποτύχει, για οποιονδήποτε λόγο, τότε το τμήμα του προγράμματος διαχείρισης ραδιοδιαύλων RRMPRB (Radio Resource Management Program Block), προσπαθεί να αναθέσει άμεσα ένα κανάλι κίνησης TCH με διάυλο γρήγορης μεταφοράς FACCH. Αυτή η άμεση εκχώρηση TCH γίνεται εφόσον το μήνυμα για αίτηση SDCCH περιέχει ένα δείκτη, ότι αυτό το SDCCH θα χρησιμοποιηθεί για τελική ανάθεση ενός TCH.

Τονίζεται ότι μια αίτηση SDCCH δεν περιέχει πλήρη κριτήρια για την ανάθεση ενός TCH. Ο τύπος του TCH το οποίο πρόκειται ν' ανατεθεί βασίζεται αποκλειστικά στις πληροφορίες που περιέχει η SDCCH αίτηση. Αυτή η αίτηση δείχνει τον τύπο του TCH που πρόκειται να ανατεθεί για την ολοκλήρωση με επιτυχία του call set-up. Δηλαδή, περιέχει πληροφορίες για το αν το υπό ανάθεση TCH είναι TCH/FR ή TCH/HR. Όποτε, αν ζητηθεί ένα TCH/HR και δεν πετύχει η ανάθεση αυτή, διότι μπορεί το BTS να μην υποστηρίζει αυτόν τον ρυθμό, τότε ακολουθεί προσπάθεια ανάθεσης ενός TCH/FR. Το αντίθετο όμως δεν ισχύει, δηλαδή αν γίνει προσπάθεια γι' ανάθεση ενός TCH/FR και δεν επιτύχει τότε δεν γίνεται προσπάθεια για εύρεση ελεύθερου TCH/HR.

Πάντα για επείγουσες κλήσης (emergency calls) χρησιμοποιείται ένα TCH/FR, διότι σε περίπτωση, που για την εγκατάσταση μιας τέτοιου είδους κλήσης, χρησιμοποιείται FACCH, ένα κανάλι TCH/HR δεν πληροί τις προϋποθέσεις γι' αυτού του είδους υψηλής προτεραιότητας κλήσεις.

Ακόμα, επειδή τις πιο πολλές φορές δεν περιέχονται στις αιτήσεις προτιμώμενες κωδικοποιήσεις φωνής (speech coding EFR,FR,HR), ο βασικός αλγόριθμος κωδικοποίησης είναι πάντα αυτός που επιτρέπει την μέθοδο FACCH.

Κατά την φάση της σηματοδότησης δεν είναι διαθέσιμες πληροφορίες για τον τύπο του κυκλώματος που θα πρέπει να αφιερωθεί στην Α διεπαφή (A interface, BSC ↔ MSC). Άρα, κατά την εγκατάσταση μιας κλήσης, η Α διεπαφή υποτίθεται ότι μπορεί

να υποστηρίξει πλήρως τις απαιτήσεις που περιέχει το μήνυμα της αίτησης SDCCH. Τονίζουμε ότι αν προκύψει λάθος στην Α διεπαφή μπορεί να έχουμε έως και πλήρη απώλεια του BTS αφού θα επέλθει μπλοκάρισμα των TRX από το αρμόδιο BSC.

Σημειώνουμε, ότι ο καθορισμός του ρυθμού που θα υποστηρίζει το κανάλι βασίζεται στο τηλεπικοινωνιακό φορτίο της κυψέλης, εάν είναι ενεργοποιημένη αυτή η υπηρεσία από τον operator. Μετά από την απόφαση του ρυθμού του καναλιού που θα ανατεθεί, η ακριβής διαδικασία ανάθεσης και εγκατάστασης κλήσης γίνεται κανονικά όπως και στην κανονική περίπτωση ενός call set-up.

6.2 Πλεονεκτήματα

Λόγω του πολύ μεγαλύτερου ρυθμού μεταφοράς ενός FACCH σε σχέση μ' ένα SDCCH (9600 Kbit/s με 782 bit/s) έχουμε ταχύτερη εγκατάσταση κλήσης.

Αυτή η μέθοδος μπορεί να εφαρμοστεί ταυτόχρονα και με την δυναμική εκχώρηση επιπλέον SDCCH και με το πλεονέκτημα, ότι όταν υπάρχει αίτηση για call set-up και δεν υπάρχει διαθέσιμο SDCCH, είτε από τα στατικά ή είτε επειδή έχουν καταληφθεί και τα 12 (16) συνολικά SDCCH, τότε μπορεί να συνεχιστεί το call set-up με FACCH. Επίσης, αν για την εγκατάσταση μιας κλήσης δεν υπάρχει διαθέσιμο SDCCH, χωρίς να υπάρχει η ανάγκη δυναμικής εκχώρησης SDCCH/8, καταλαμβάνοντας ένα ολόκληρο TCH για ένα μόνο SDCCH, μπορεί να γίνει απευθείας ανάθεση του TCH.

6.3 Μειονεκτήματα

Σε περίπτωση που για κάποιο λόγο, άσχετο με το δίκτυο του MT, δεν επιτύχει το call set-up, έχει καταληφθεί ένα ολόκληρο TCH χωρίς λόγο.

Δεν υπάρχει δυνατότητα να υποστηρίζονται και άλλων ειδών σηματοδοσίες εκτός από την εγκατάσταση κλήσης. Δηλαδή, δεν μπορούμε να κάνουμε Location Update ή αποστολή SMS από έναν FACCH διάυλο.

6.4 Παράδειγμα

Έστω ένα BTS με 23 TCHs και 8 SDCCHs.

Σε μια περίπτωση congestion έχουμε:

Blocking Probability TCHs: 9,101 %

Blocking Probability SDCCHs: 28,147 %

Blocking Probability Call Set Up: 34,687 %

Δίνοντας ένα SDCCH/8 έχουμε:

Blocking Probability TCHs: 11,26 %

Blocking Probability SDCCHs: 0,573 %

Blocking Probability Call Set Up: 11,768 %

Δίνοντας 2 SDCCH/8 έχουμε:

Blocking Probability TCHs: 14,4 %

Blocking Probability SDCCHs: 0,003 %

Blocking Probability Call Set Up: 13,512 %

Παρατηρούμε ότι με παροχή 2 dynamic SDCCH/8 έχουμε υψηλότερο Blocking Probability.

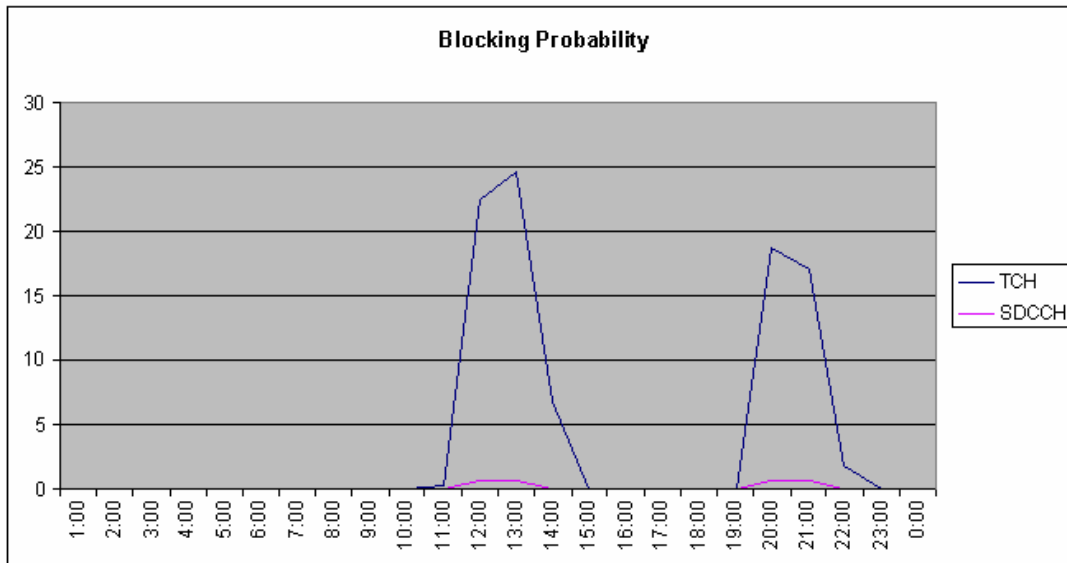
Με την εφαρμογή της FACCH στο παραπάνω παράδειγμα έχουμε:

Blocking Probability Call Set Up: 9,101 %

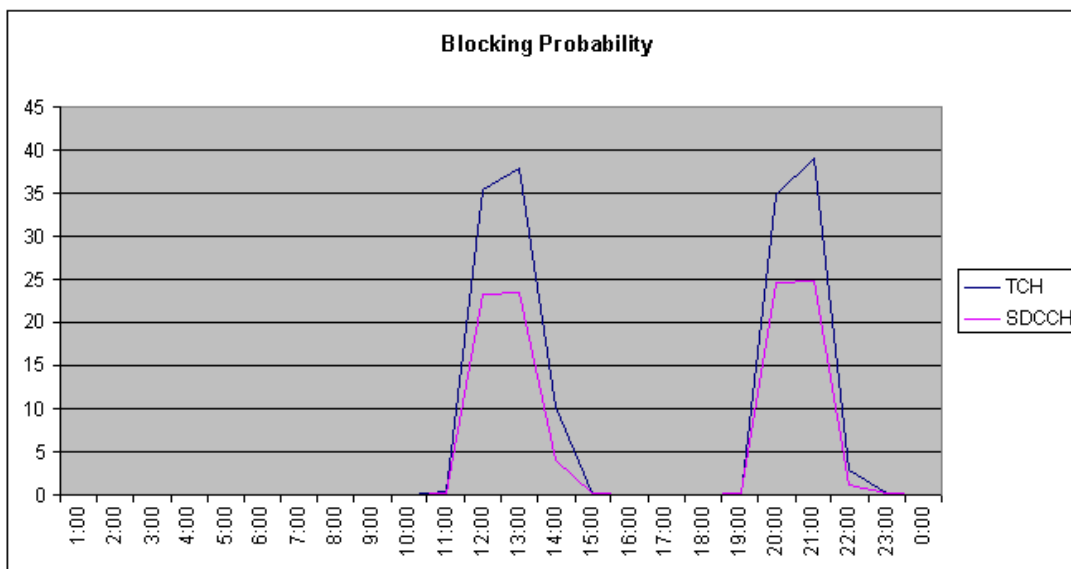
Blocking Probability SDCCHs: 0,431 %

Παρατηρούμε την FACCH να υπερτερεί της Dynamic SDCCH.

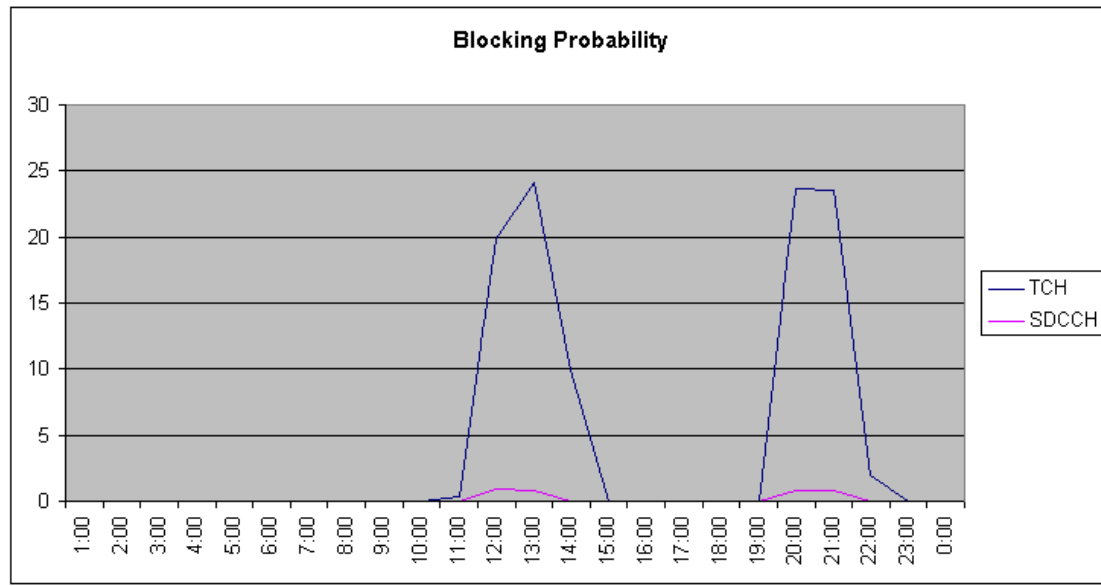
6.5 Εξομοιώσεις από την εφαρμογή του Dynamic SDCCH και FACCH



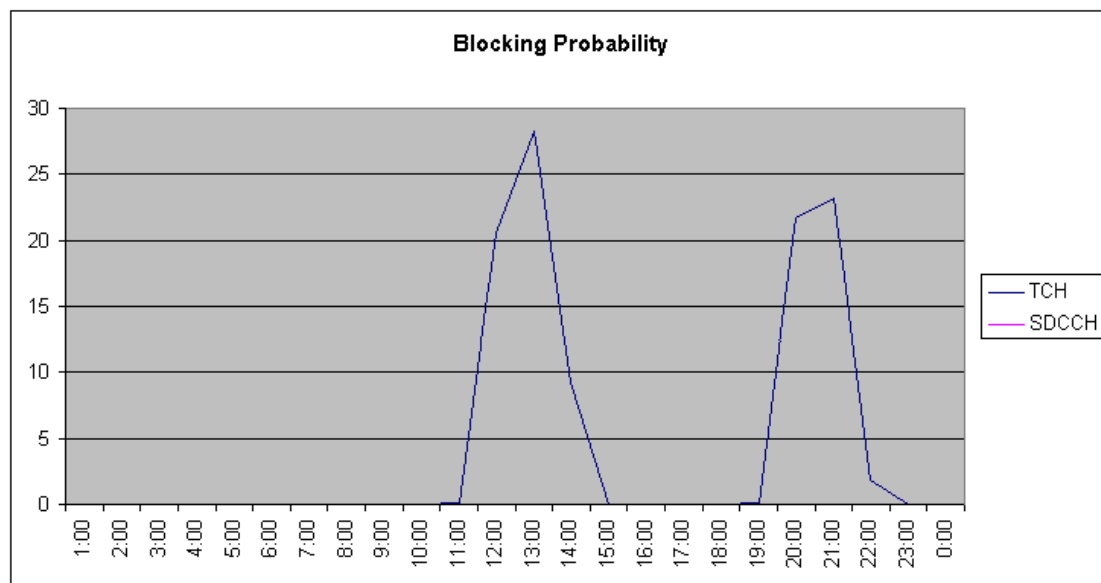
Σχήμα 6-1: Κανονικό σύστημα με 23 TCHs και 8 SDCCHs και κανονική κίνηση



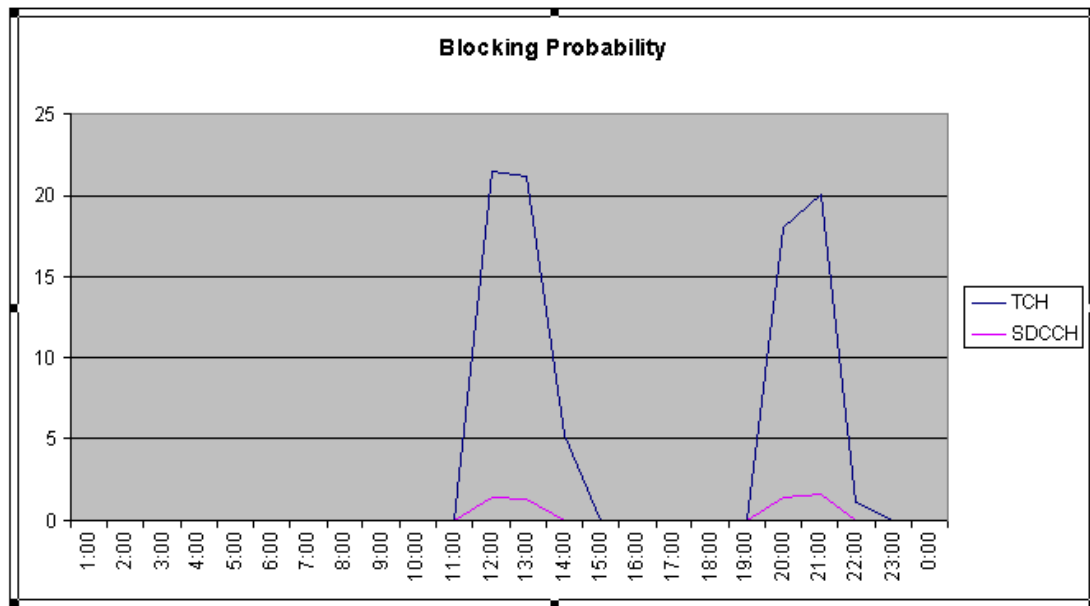
Σχήμα 6-2: Κανονικό σύστημα με 23 TCHs και 8 SDCCHs, αλλά με 3-πλάσια κίνηση



Σχήμα 6-3: BTS με 22 TCHs και 16 SDCCHs (Dynamic SDCCH technique)



Σχήμα 6-4: BTS με 21 TCHs και 24 SDCCHs (Dynamic SDCCH technique)



Σχήμα 6-5 : FACCH Technique (23 TCHs, 8 SDCCHs)

7 Επιλογή ρυθμού μετάδοσης καναλιού TCH βάση του τηλεπικοινωνιακού φορτίου

7.1 Εισαγωγή

Όπως γνωρίζουμε το GSM ή DCS είναι ψηφιακό σύστημα, δηλαδή η αναλογική φωνή πρέπει να ωηφιοποιηθεί. Έτσι, όπως και τα σταθερά συστήματα τηλεφωνίας ISDN, χρησιμοποιούν ψηφιακή διαμόρφωση με την υιοθέτηση της παλμικά κωδικοποιημένης διαμόρφωσης PCM, που για να μεταφέρει ήχο τηλεφωνικής ποιότητας (0-4 KHz), χρειάζονται γραμμές μεταφοράς 64 Kbit/s. Όμως, ένας τόσο υψηλός ρυθμός δεν είναι εύκολα εφικτός για ένα κινητό σύστημα τηλεφωνίας, αφού θα καταλάμβανε υπερβολικά μεγάλο εύρος στο RF φάσμα. Γι' αυτό, για την χρήση ψηφιακής διαμόρφωσης στους φασματικά περιορισμένους διαύλους του GSM, δημιουργήθηκαν αρκετοί αλγόριθμοι κωδικοποίησης στη βάση της υποκειμενικότητας της ποιότητας της φωνής και της πολυπλοκότητας σε hardware και software, που θα απαιτούσε μια τέτοιου είδους μέθοδος. Η τελική επιλογή ήταν η Regular Pulse Excited – Linear Predictive Coder (RPE-LPC) με μεγάλης χρονικής διάρκειας πρόβλεψης βρόχο. Δηλαδή, πληροφορίες από προηγούμενα δείγματα, τα οποία δεν αλλάζουν πολύ γρήγορα, χρησιμοποιούνται για να προβλέψουν τα τρέχοντα δείγματα. Η ομιλία χωρίζεται σε δείγματα κάθε 20 ms, το κάθε από αυτά περιέχει 260 bit κωδικοποιημένης πληροφορίας, το οποίο δίνει τελικά ένα συνολικό ρυθμό bit των 13 Kbit/s. Αυτού του είδους η κωδικοποίηση καλείται Full Rate speech coding. Υπάρχει και η Half Rate coding που έχει ένα συνολικό bit rate 6,5 Kbit/s, δηλαδή το μισό από το προηγούμενο. Σχετικά πρόσφατα έχει αρχίσει να χρησιμοποιείται και ένας πιο εξελιγμένος αλγόριθμος κωδικοποίησης ο Enhanced Full Rate (13 Kbit/s), ο οποίος δίνει ποιότητα φωνής ισότιμη με ενός σταθερού τηλεφώνου που χρησιμοποιεί PCM 64 Kbit/s.

7.2 Περιγραφή της μεθόδου

7.2.1 Ιδιότητες

Ο έλεγχος ανάθεσης ενός καναλιού κίνησης TCH βασιζόμενος στο τηλεπικοινωνιακό φορτίο ενός BTS είναι δυνατός εφόσον έχουν καθοριστεί από τον operator οι κατάλληλες παράμετροι στις ρυθμίσεις του δικτύου, όπως π.χ. οι υποστηριζόμενοι ρυθμοί, καθώς και η χωρητικότητα στις διάφορες διεπαφές του δικτύου. Για να εφαρμοστεί η επιλογή του ρυθμού που θα υποστηρίζει ένα TCH, θα πρέπει αυτοί οι ρυθμοί να υποστηρίζονται από την A διεπαφή. Εάν δεν υποστηρίζονται τότε θα πρέπει να γίνει μεταγωγή της A διεπαφής σε άλλη που να υποστηρίζει τον προς ανάθεση ρυθμό.

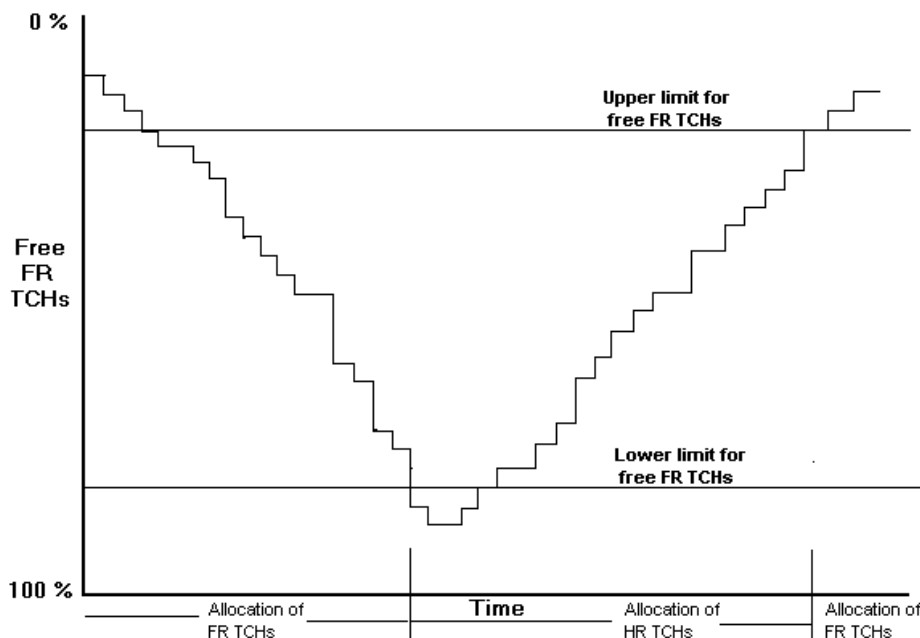
Εάν η ανάθεση των καναλιών κίνησης βασίζεται στο φορτίο της κυψέλης, η ανάθεση TCH/FRs γίνεται έως ότου ο αριθμός των ελεύθερων TCH/FRs μειώνεται, μέχρι ενός κατώτατου ορίου. Μόλις ο αριθμός αυτών των διαθέσιμων TCH/FRs μειωθεί κάτω από αυτό το κατώτατο όριο, τότε ξεκινάει η διαδικασία ανάθεσης TCH/HRs. Μόλις αυτός ο αριθμός αυξηθεί πάνω από ένα ανώτατο όριο, τότε ξανά έχουμε ανάθεση TCH/FRs. Παρατηρούμε ότι υπάρχει ένα διάστημα υστέρησης μεταξύ των δυο ορίων.

Τα παραπάνω μπορούν να γίνουν εφόσον υποστηρίζονται αιτήσεις διπλού ρυθμού (dual rate) και όταν και οι δυο ρυθμοί είναι αποδεκτοί. Αν γίνεται αίτηση ανάθεσης ενός συγκεκριμένου ρυθμού, τότε προχωρεί η διαδικασία ανάθεσης ανεξάρτητα με το φορτίο στα κανάλια κίνησης της κυψέλης. Η μέθοδος αυτή είναι εφαρμόσιμη για κλήσης ομιλίας, δεδομένων και σηματοδότησης αλλά με ορισμένες εξαιρέσεις. Σε περιπτώσεις κλήσεως φωνής, εάν έχει ρυθμιστεί να είναι προτιμώμενος ρυθμός ο HR, τότε τα αντίστοιχα ελεύθερα στατικά εκχωρηθέντα κανά-

για κίνηση ανατίθενται με μεγαλύτερη προτεραιότητα ακόμα και αν έχει ενεργοποιηθεί από τον operator η λειτουργία ανάθεσης TCH βασισμένη στο φορτίο τηλεπικοινωνιακής κίνησης. Σε περιπτώσεις δεδομένων και σηματοδοσίας πάντα αναθέτεται ένα TCH/HR εάν έχει καθοριστεί ως προτιμητέο, αν και κάτι τέτοιο δεν απαιτείται ακόμα και σε χαμηλού φορτίου περιπτώσεις.

Αν ο διαχειριστής του δικτύου έχει ενεργοποιήσει την παραπάνω λειτουργία και το κατώτερο όριο διαθέσιμων TCH/FRs είναι μεγαλύτερο του μηδενός, τότε στην χειρότερη περίπτωση που έχει απομείνει μια ελεύθερη χρονοθυρίδα διπλού ρυθμού DR RTSL, αυτή χωρίζεται σε δυο TCH/HRs προς ανάθεση. Αυτό κάνει δυνατό να καθοριστεί ένα θετικό όριο για την ανάθεση TCH/HRs σε BTS τα οποία έχουν μόνο ένα TRX, χωρίς φυσικά να είναι αναγκαίο αυτό το κάτω όριο να παίρνει μεγάλες τιμές.

Αν τώρα το κατώτερο όριο διαθέσιμων TCH/FRs είναι ίσο του μηδενός, τότε οι πόροι των TCH/HRs μπορούν να ανατεθούν για κλήσεις ομιλίας ή δεδομένων όταν ζητείται από το MSC και μόνο, ανεξάρτητα αν το BTS έχει μόνιμα ή όχι, TCH/HRs.



Σχήμα 7-1: TCH H/F parameters

7.2.2 Παράμετροι

Η παραπάνω διαδικασία, ελέγχεται αποκλειστικά από δυο παραμέτρους, τον ανώτατο και κατώτατο αριθμό ελεύθερων TCH/FRs σε μια κυψέλη. Αυτές οι παράμετροι μπορεί να καθοριστούν είτε στο BTS, είτε στο BSC. Οι τιμές που παίρνουν αυτές οι παράμετροι είναι σχετικές με το ποσοστό των καναλιών κίνησης Full Rate που είναι ελεύθερα προς αυτά που είναι απασχολημένα. Εάν η ανώτατη τιμή καθοριστεί πιο μικρή από την κατώτατη, τότε η επίδραση αυτών παύει να ισχύει.

Οι παράμετροι αυτοί όταν καθορίζονται τοπικά στο BTS, και είναι ενεργοποιημένη η παραπάνω μέθοδος, ισχύουν αποκλειστικά και μόνο σ' αυτό. Εάν δεν έχουν καθοριστεί ειδικοί κανόνες για τον έλεγχο των ρυθμών που θα υποστηρίζονται, τότε ισχύουν οι παράμετροι και οι τιμές από το υπεύθυνο BSC. Οι προεπιλεγμένες τιμές αυτών των παραμέτρων έχουν ρυθμιστεί έτσι ώστε να μην γίνεται επιλογή του ρυθμού βάση του τηλεπικοινωνιακού φορτίου της κυψέλης.

Κατώτατο όριο για ελεύθερους TCH/FRs πόρους

Η παράμετρος αυτή δίνει το ελάχιστο όριο επί τοις εκατό των αναφορικά διαθέσιμων TCH/FRs. Σημειώνεται ότι στην τιμή αυτή περιλαμβάνονται τόσο τα RTSL μόνιμου όσο και τα διπλού ρυθμού. Έτσι, εάν ένα TCH/FR έχει ανατεθεί, τότε ο αριθμός των ελευθέρων TCH/FR ήταν πάνω από αυτό το όριο. Αν έχει ανατεθεί ένα TCH/HR τότε ο αριθμός των ελευθέρων TCH/FR ήταν κάτω από αυτό το όριο.

Η προεπιλεγμένη τιμή είναι 100 %.

Ανώτατο όριο για ελεύθερους TCH/FRs πόρους

Η παράμετρος αυτή δίνει το ανώτατο όριο επί τοις εκατό των αναφορικά διαθέσιμων TCH/FRs. Σημειώνεται ότι στην τιμή αυτή περιλαμβάνονται τόσο τα RTSL μόνιμου όσο και τα διπλού ρυθμού. Έτσι, εάν ένα TCH/HR έχει ανατεθεί, τότε ο αριθμός των ελευθέρων TCH/FR ήταν πάνω από αυτό το όριο. Αν έχει ανατεθεί ένα TCH/FR τότε ο αριθμός των ελευθέρων TCH/FR ήταν κάτω από αυτό το όριο.

Η προεπιλεγμένη τιμή είναι 0 %.

Οι τιμές αυτών των παραμέτρων είναι αποθηκευμένες στο BSDATA και μπορούν να τροποποιηθούν από το MMI του BSC ή από το NMS μέσω του Q3.

7.2.3 Αλληλεπίδραση με άλλα δικτυακά στοιχεία

Έλεγχος του ρυθμού καναλιού κατά την διάρκεια διαπομπής

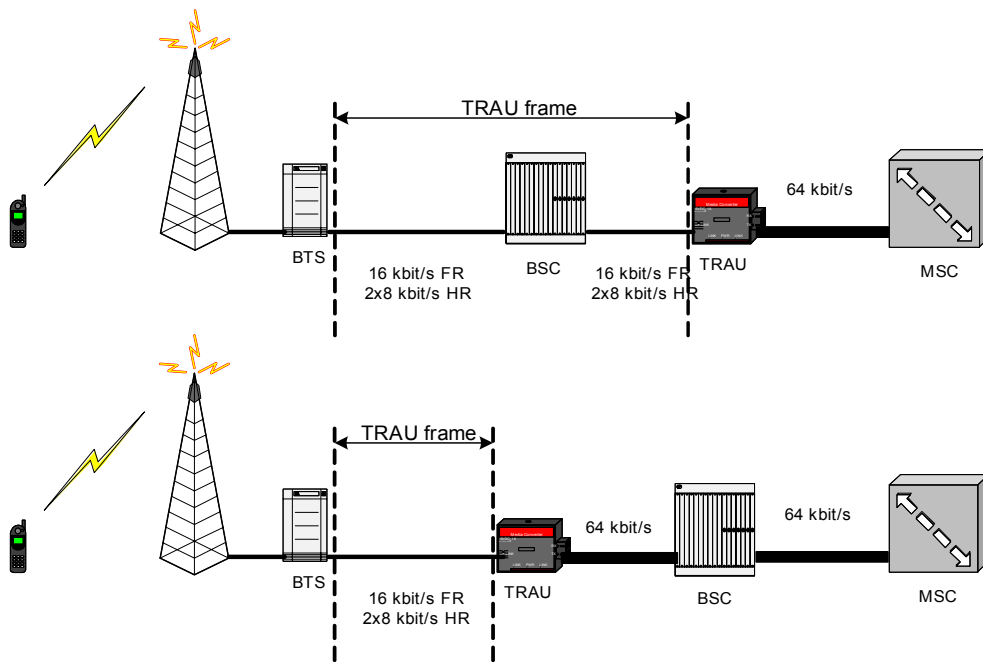
Επιπρόσθετα με την διαδικασία εγκατάστασης κλήσης και μιας εξωτερικής διαπομπής, οι δυο αυτοί παράμετροι μπορούν να εφαρμοστούν ακόμα και σε εσωτερικές διαπομπές. Όμως, αυτό μπορεί να γίνει, εφόσον η αίτηση για διαπομπή δεν περιέχει περιορισμούς ως προς τον επιλεγόμενο ρυθμό του καναλιού κίνησης ή όταν δεν έχει καθοριστεί τιμή στο BSS.

Έτσι, οι παράμετροι οι οποίοι ελέγχουν το ρυθμό των καναλιών κίνησης, *TCH rate internal handover* και *TCH rate intra-cell handover*, προκαλούν τους παρακάτω περιορισμούς στην επίδραση που έχουν οι προηγούμενες δυο παράμετροι:

- Εάν δεν επιτρέπονται αλλαγές στον ρυθμό του καναλιού καθολικά, τότε αυτές δεν επιτρέπονται λόγω των συνθηκών που επικρατούν στο φορτίο της κυψέλης.
- Εάν ο ρυθμός που υποστηρίζεται από ένα TCH καθορίζεται ως προτιμώμενος από τις παραμέτρους και ένα παλιό κανάλι είναι TCH/HR, τότε στο νέο κανάλι θα είναι βασικός ρυθμός ο HR ανεξάρτητα από το φορτίο της κυψέλης.

Οι άλλες τιμές των παραμέτρων ελέγχου του ρυθμού των καναλιών, είναι δυνατόν να λάβουν υπ' όψιν το φορτίο του BTS για τον καθορισμό TCH για εσωτερικές διαπομπές, εξαιτίας των ευέλικτων ορίων που καθορίζουν.

Η επιλογή ρυθμού στο κανάλι TCH υποστηρίζεται από όλα τα BTS πλέον. Στο παρακάτω Σχήμα 7-2, μπορούμε να δούμε δυο διαφορετικές δικτυακές τοπολογίες τον TRAU (συμπιεστών-αποσυμπιεστών). Στην πρώτη περίπτωση το TRAU βρίσκεται μετά από το BSC, ενώ στην δεύτερη πριν το BSC. Στην δεύτερη περίπτωση με την εφαρμογή της τεχνικής αυξάνουμε και την χωρητικότητα του A-interface.



Σχήμα 7-2 : Διαφορετικές τοπολογίες του TRAU σε ένα GSM δίκτυο

Αλληλεπίδραση με την υπηρεσία GPRS

Εάν η υπηρεσία μεταγωγής γενικού πακέτου GPRS είναι σε λειτουργία σε ένα BTS στο οποίο ένα TCH είναι προς ανάθεση, οι TCH πόροι του BTS έχουν χωριστεί σε δυο κατηγορίες, μια για κανάλια αποκλειστικά για μεταγωγή κυκλώματος, circuit switched (CS) και μια άλλη για μεταγωγή πακέτου, packet switched (PC). Σε αυτή την περίπτωση το τρέχον τηλεπικοινωνιακό φορτίο που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των παραπάνω παραμέτρων, υπολογίζεται βάση του αριθμού των ελεύθερων πόρων της κατηγορίας μεταγωγής κυκλώματος CS.

7.3 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα

Είναι δυνατή η άμεση εξεύρεση επιπλέον πόρων από το σύστημα χωρίς να απαιτούνται ριζικές αλλαγές στο δίκτυο. Επίσης, υπάρχει αρκετά μεγάλη ευελιξία ως προς την επιλογή του ρυθμού, δηλαδή την συνύπαρξη πολλών διαφορετικών ρυθμών σ' ένα TRX. Σημειώνεται ότι με την χρησιμοποίηση TCH/HRs μπορεί να επεκταθεί η εμβέλεια ενός BTS έως και τα 70 Km, σ' αντίθεση με τα 35 Km όταν έχουμε FR, λόγω χρονισμού του συστήματος (βλέπε time advance – TA).

Ένα μειονέκτημα είναι ότι στα κανάλια TCH/HRs η ποιότητα του ήχου δεν είναι ικανοποιητική. Επίσης, υπάρχουν MT που δεν υποστηρίζουν HRs ρυθμούς, χωρίς όμως αυτό να δημιουργεί περιορισμούς. Ακόμα, η μέθοδος αυτή δεν αντιμετωπίζει απότομη αύξηση της κίνησης, που όπως γνωρίζουμε εμφανίζεται με συμφόρηση στα κανάλια σηματοδότησης SDCCH.

Ακολουθούν παρακάτω οι ρυθμοί που υποστηρίζονται από ένα GSM MT:

```

THR0 : TCH HR subchannel 0
THR1 : TCH HR subchannel 1
TFR  : TCH FR
TEFR : TCH EFR
F144 : TCH FR data channel, speed 14.4 kbps
F96  : TCH FR data channel, speed 9.6 kbps
F72  : TCH FR data channel, speed 7.2 kbps
F48  : TCH FR data channel, speed 4.8 kbps
F24  : TCH FR data channel, speed 2.4 kbps
H480 : TCH HR data channel, speed 4.8 kbps, subch 0
H481 : TCH HR data channel, speed 4.8 kbps, subch 1
H240 : TCH HR data channel, speed 2.4 kbps, subch 0
H241 : TCH HR data channel, speed 2.4 kbps, subch 1
FA    : TCH FR signalling only (FACCH) channel
FAH0 : TCH HR signalling only (FACCH) channel, subch 0
    
```

7.4 Αποτελέσματα από την εφαρμογή της τεχνικής

Για να αξιολογήσουμε τα αποτελέσματα από την εφαρμογή αυτής της τεχνικής, θεωρούμε ότι έχουμε ένα BTS με 23 TCHs. Έχουμε θέσει το lower limit στο 18% που αντιστοιχεί σε 19 κανάλια TCHs σε λειτουργία. Επίσης το upper limit είναι 35%, που αντιστοιχεί σε 15 κανάλια TCHs σε λειτουργία. Έτσι η μέγιστη πιθανότητα blocking που θα αντιμετωπίσει ένας χρήστης φωνής είναι 6.6 % για ανάθεση καναλιών Full rate. Η πιθανότητα αυτή έχει υπολογιστεί από το πίνακα Erlang B, για 23 διαθέσιμα κανάλια και 19 Erlang ως προσφερόμενη κίνηση, που αντιστοιχεί σε πλήρη απασχόληση 19 καναλιών κίνησης για μια ώρα. Έτσι σε αυτή την περίπτωση έχουμε 4 TCH/FR (κατάσταση 1), όπως φαίνεται στο Σχήμα 7-3.

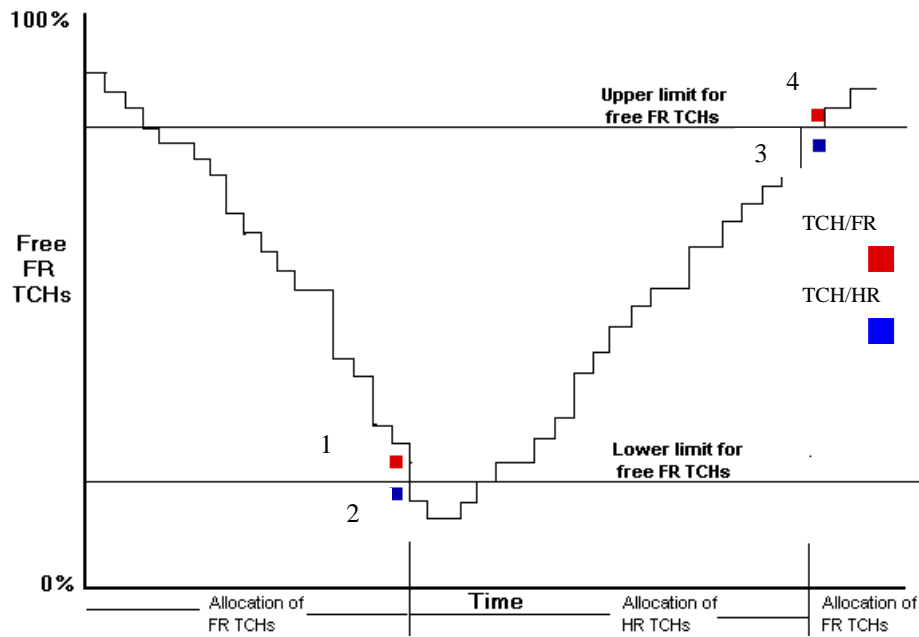
Με αυτή την τεχνική έχουμε από 4 TCH/FR διαθέσιμα κανάλια, την δημιουργία 8 TCH/HR διαθέσιμων καναλιών. Έτσι τα συνολικά διαθέσιμα κανάλια στο BTS είναι από 23 σε 27 (19 TCH/FR + 8 TCH/HR).

Υπολογίζοντας μέσω του Erlang B-table, το νέο blocking probability ελαττώνεται σε 1.8 % (κατάσταση 2) Σχήμα 7-3.

Επίσης όσον αφορά το upper limit, το οποίο είναι 35% (15 TCH/FR), και υπολογίζοντας το blocking rate για 15 Erlang (15 TCH/FR απασχολημένα για μια ώρα) και 27 κανάλια κίνησης (8 TCH/HR + 19 TCH/FR) είναι 0.2 % (κατάσταση 3)

Όταν τα διαθέσιμα κανάλια είναι πάνω από 15, όσο είναι και το upper limit, τότε έχουμε επαναφορά των καναλιών από HR σε FR. Έτσι το blocking probability γίνεται 1% (κατάσταση 4) Σχήμα 7-3

Επίσης στον Πίνακα 7-1, βλέπουμε συνοπτικά τα blocking probability σε κάθε κατάσταση, όπως φαίνεται στο Σχήμα 7-3 και για δυο διαφορετικές ρυθμίσεις των upper και lower limits.



Σχήμα 7-3: TCH H/F configuration

	Lower Limit free TCH/FRs = 18% Upper Limit free TCH/FRs = 35%		Lower Limit free TCH/FRs = 35% Upper Limit free TCH/FRs = 68%	
	Blocking Probability	Total TCHs	Blocking Probability	Total TCHs
Κατάσταση 1	6.6%	23	1.0%	23
Κατάσταση 2	1.8%	27	0.0%	31
Κατάσταση 3	0.2%	27	0.0%	31
Κατάσταση 4	1.0%	23	0.0%	23

Πίνακας 7-1: Blocking probability σύμφωνα με τον αριθμό καναλιών TCHs και των δυο διαφορετικών παραμέτρων της τεχνικής.

8 Ανάθεση TCH με προτεραιότητα στα TRX

8.1 Εισαγωγή

Μερικές φορές μπορεί να είναι χρήσιμο να προτιμάται το TRX που φέρει το BCCH υποδιαύλου, για την ανάθεση ενός καναλιού κίνησης TCH. Ένας λόγος που προτιμάται να γίνεται αυτό, είναι ότι στο Broadcast TRX εκπέμπονται συνεχώς όλες οι χρονοθυρίδες RTSL, έτσι η ανάθεση ενός RTSL για TCH δεν επιβαρύνει το δίκτυο με επιπλέον παρεμβολές. Ένας άλλος λόγος είναι ότι η συχνότητα του Broadcast TRX δεν αναχρησιμοποιείται τόσο συχνά, όσο οι συχνότητες των άλλων TRXs. Έτσι, η ποιότητα του καναλιού TCH από ένα BCCH TRX είναι ανώτερη, διότι έχει κατά κανόνα καλύτερο λόγο σήματος προς παρεμβολή C/I.

Όμως, στην περίπτωση όπου στο δίκτυο χρησιμοποιείται αναπήδηση στην συχνότητα RF Hopping, τότε γενικώς ελαττώνεται η μέση τιμή των παρεμβολών που προσβάλλουν ένα MT. Όμως, στο BCCH δεν μπορεί να εφαρμοστεί αναπήδηση συχνότητας, αφού αυτό θα ήταν δυνατόν μόνο αν το TRX εκπέμπει Broadcast το σχήμα αναπήδησης, το οποίο θα ήταν ασύμφορο σε σηματοδοσία καθώς επίσης θα απαιτούσε από το MT πολύ μεγαλύτερη κατανάλωση ισχύος σε αδρανή κατάσταση. Έτσι, είναι μερικές φορές προτιμότερο να ανατίθεται ένα TRX όπου έχουμε RF hopping, έτσι ώστε να έχουμε καλύτερης ποιότητας επικοινωνία. Εν τούτοις, η τεχνική του RF hopping κάνει δυνατή την αναχρησιμοποίηση των συχνοτήτων των μη-BCCH TRX πιο συχνή, με αποτέλεσμα την αποδοτικότερη χρήση του ραδιοφάσματος. Έτσι, η προτίμηση BCCH TRX λόγω των παρεμβολών μπορεί να μην ισχύει πάντα.

Τα κριτήρια προτεραιότητας μεταξύ των BCCH TRX και των άλλων, για ανάθεση ενός TCH, είναι ένα βασικό χαρακτηριστικό του GSM και συνήθως καθορίζεται από το αρμόδιο BSC. Η παραπάνω λειτουργία δεν εφαρμόζεται στην περίπτωση που έχουμε υπέρ-αναχρησιμοποίηση TCH πόρων σε δίκτυο με αρχιτεκτονική διαστρωματωμένης διαπομπής (underlay-overlay handover). Δηλαδή, περιπτώσεις στις οποίες ένα RTSL-TCH ξαναχρησιμοποιείται σε ένα BTS, π.χ. με pico-cell για κάλυψη εσωτερικών χώρων.

8.2 Περιγραφή της τεχνικής

8.2.1 Ιδιότητες

Η κανονική μέθοδος για την ανάθεση ενός καναλιού κίνησης για μια κλήση όταν δεν τίθενται περιορισμοί για την ανεκτή ποιότητα, είναι η ανάθεση ενός RTSL που έχει τις λιγότερες παρεμβολές στο uplink. Έτσι, το TRX από το οποίο πρόκειται να γίνει ανάθεση ενός διαύλου, καθορίζεται από τη κατάσταση των TCH πόρων σε κάθε διαθέσιμο TRX επιπρόσθετα με εναλλαγή στην ανάθεση των TCHs σ' αυτό το TRX.

Ομοίως, όταν έχουμε διερεύνηση αν ένα TCH ικανοποιεί τις συγκεκριμένες απαιτήσεις για την ποιότητα στην uplink σύνδεση, τότε κανένα από τα TRXs ή τις ομάδες των TRX δεν έχει προτεραιότητα.

Ανάθεση ενός καναλιού κίνησης από μια συγκεκριμένη προτιμώμενη ομάδα TRXs είναι εφαρμόσιμη, αν και μόνο αν σ' αυτήν την ομάδα δεν υπάρχουν πολλές παρεμβολές. Πάντα μιλάμε για παρεμβολές στην uplink συχνότητα, δηλαδή την συχνότητα στην οποία το TRX ακούει το MT, αφού μόνο σ' αυτήν μπορεί το BTS να έχει στοιχεία από μόνο του. Κλήσεις οι οποίες ανατίθενται σε κανάλια με ισχυρές παρεμβολές μπορούν και να απορριφθούν, ενώ μπορεί αυτοί οι δίαυλοι να ξανά-ανατεθούν για κλήσεις, όμως πάλι με τις ίδιες συνέπειες. Έτσι, εφαρμόζοντας την μέθοδο της ελάχιστα αποδεκτής C/N, αποτρέπονται οι συνέπειες από τις παραπάνω περιπτώσεις.

Σημειώνουμε ότι οι ρυθμίσεις των προτεραιοτήτων μεταξύ του BCCH TRX και των άλλων TRX που είναι διαθέσιμα σ' ένα BTS μπορούν να καθοριστούν με δυο τρόπους. Ο καθορισμός εξαρτάται στο κατά πόσο υψηλά έχει εκτιμηθεί το μέγιστο αποδεκτό επίπεδο παρεμβολών στην uplink σύνδεση, για την ανάθεση ενός TCH. Ακολουθούν αναλυτικά τα εξής:

Όταν οι μετρήσεις για τον καθορισμό της ελάχιστη αποδεκτής C/N στο uplink δεν γίνονται από το αρμόδιο BSC ή το MSC έχει θέσει δικά του επίπεδα παρεμβολών, τότε η απόφαση για το πιο TCH θα ανατεθεί, με κριτήριο το επίπεδο των παρεμβολών στην uplink συχνότητα, γίνεται χρησιμοποιώντας μερικώς τις πληροφορίες, σχετικά με τις παρεμβολές, που συλλέγει το BTS από τους αδρανείς TCH πόρους. Έτσι, οι διάυλοι με τις λιγότερες παρεμβολές επιλέγονται ως υποψήφιοι για ανάθεση. Ένα TCH ανατίθεται με προτεραιότητα είτε στο BCCH TRX είτε στην ομάδα των άλλων διαθέσιμων TRXs του BTS, ανάλογα με την προτεραιότητα που έχει δοθεί σε κάθε ένα. Έτσι, αν κανένα κατάλληλο κανάλι δεν μπορεί να βρεθεί στο προτιμητέο TRX, τότε πρέπει να ανατεθεί ένα TCH από την δευτερεύουσας προτεραιότητας ομάδα. Ο καθορισμός της ποιότητας του προς ανάθεση καναλιού γίνεται πριν την επιλογή των TRXs. Και αυτό διότι η ακριβής ανοχή στις παρεμβολές σε μια κλήση είναι άγνωστη και το καλύτερης ποιότητας σε C/I κανάλι τίθεται ως υποψήφιο για ανάθεση.

Όταν το εύρος των τιμών C/N βασίζεται πάνω σε υποδείξεις που εκτιμούνται από το BSC, με κριτήριο την ελάχιστη επιτρεπτή αναλογία σήματος παρεμβολών, τότε η απόφαση για την ποιότητα του καναλιού που είναι υπό ανάθεση, βασίζεται σε πληροφορίες για τις τιμές των παρεμβολών στην uplink συχνότητα των TRX που έχουν προτεραιότητα. Αυτές οι πληροφορίες συγκρίνονται με τις εκτιμημένου εύρος υποδείξεις για τις παρεμβολές. Δηλαδή, όταν η προτιμητέα ομάδα TRX έχει ένα κανάλι με αποδεχτές τιμές παρεμβολών, τότε το TCH-RTSL, που ικανοποιεί τις προϋποθέσεις για την ποιότητα, ανατίθεται. Όταν όλα τα TCHs του προτιμητέου TRX πληρούν τις προϋποθέσεις για το επίπεδο των παρεμβολών, τότε αυτό με τις λιγότερες παρεμβολές απ' όλα τα άλλα αδρανή TCHs ανατίθεται για μια κλήση.

Αυτή η μέθοδος εφαρμόζεται σε κάθε αίτηση που αφορά κανάλι κίνησης σε μια περιοχή όπου έχουμε κάλυψη με regular frequency, δηλαδή δεν έχουμε υπέρ-αναχρησιμοποίηση συχνότητας σε διαστρωματωμένης αρχιτεκτονικής δίκτυα (underlay-overlay network). Ωστόσο, σε ενδοκυψελικές διαπομπές (intra-BTS handovers) τα TCH ανατίθενται με προτεραιότητα σ' άλλα TRXs από αυτό το οποίο εξυπηρετούσε την κλήση. Εννοείται ότι αν δεν βρεθεί κατάλληλος πόρος από την προτιμώμενη ομάδα, τότε επιλέγονται από τις άλλες.

Η παράμετρος η οποία καθορίζει ποιο TRX θα έχει προτεραιότητα, καθορίζεται από την ειδική παράμετρο του BTS *TrxPriorityInTCHAllocation*.

8.2.2 Παράμετροι

Η παράμετρος *TrxPriorityInTCHAllocation*, η οποία ελέγχει τις ρυθμίσεις προτεραιότητας μεταξύ του Broadcast TRX και των άλλων TRXs για την ανάθεση ενός καναλιού κίνησης TCH, ανήκει στην κλάση των παραμέτρων του BTS που είναι αρμόδιο για το μέρος του ραδιοδικτύου. Η παράμετρος αυτή καθορίζεται όταν το BCCH TRX ή τα αλλά απλά TRXs είναι προτιμητέα για την ανάθεση ενός TCH και διακρίνουμε τις παρακάτω δυνατές τιμές:

- Δεν έχει καθοριστεί κανενός είδους προτεραιότητα μεταξύ των TRXs, δηλαδή όλα RTSL των TRXs είναι ισότιμα ως προς την ανάθεση, ανεξάρτητα σε πιο TRX ανήκουν. Αυτή η τιμή είναι και η προκαθορισμένη (default value).
- Ένα κανάλι κίνησης ανατίθεται με προτεραιότητα από το BCCH TRX.
- Ένα κανάλι κίνησης ανατίθεται με προτεραιότητα πέραν από το BCCH TRX.

Η παράμετρος *TrxPriorityInTCHAllocation* αποθηκεύεται στο BSDATA. Μπορεί να χειριστεί από το MMI του αρμόδιου BSC ή από το NMS μέσω του Q3.

Η παράμετρος αυτή εφαρμόζεται στις περιπτώσεις εγκατάστασης κλήσης ή διαπομπής, όχι όμως και σε περίπτωση διαπομπής σε TRX με υπέρ-αναχρησιμοποίηση συχνότητας (super-reuse frequency TRXs). Και αυτό διότι τα παραπάνω TRXs δεν συμπεριλαμβάνονται στις τιμές της παραμέτρου όπως είδαμε.

Οι παράμετροι που ανήκουν στις κλάσεις αντικειμένων ενός BTS όπως *CNThreshold* και *InterferenceAveragingProcess* χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση του εύρους των τιμών των παρεμβολών σύμφωνα με τις διάφορες υποδείξεις.

8.2.3 Αλληλεπίδραση μ' άλλες μεθόδους

Η απαίτηση για TCH κανάλι ενός συγκεκριμένου ρυθμού μπορεί να καθοριστεί στις ρυθμίσεις της διαδικασίας προτεραιότητας των TRXs. Όταν υπάρχει δυνατότητα υποστήριξης και TCH/FR ή TCH/HR, τότε το κανάλι κίνησης του προτιμητέου ρυθμού πάντα ανατίθεται, είτε βρεθεί στην προτιμητέα ομάδα TRXs είτε όχι. Η προτίμηση του ρυθμού του TCH μπορεί να καθοριστεί άμεσα από το MSC ή από το BSC με τις παραμέτρους ελέγχου. Όπως προαναφέραμε δεν ισχύουν οι προτεραιότητες στην περίπτωση διαστρωματωμένης διαπομπής (underlay-overlay handover).

8.3 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα

Ένα πλεονέκτημα που προκύπτει όταν το BCCH TRX έχει μεγαλύτερη προτεραιότητα στην ανάθεση ενός TCH είναι η ελάττωση των παρεμβολών στο δίκτυο, η ομαδοποίηση των TCH έτσι ώστε να μην υπάρχουν κενά που επιδρούν δυσμενώς στην multislot allocation, όταν υποστηρίζεται από το δίκτυο GPRS ή HSCSD. Επίσης, λειτουργούν τα TRX που μεταφέρουν κίνηση ενώ τα TRX που έχουν αδρανή TCHs δεν εκπέμπουν με αποτέλεσμα να έχουμε και εξοικονόμηση στην κατανάλωση ενέργειας, πράγμα επιθυμητό όταν το BTS βρίσκεται σε περιοχές με περιορισμένη παροχή ενέργειας, π.χ. απομακρυσμένη βουνοκορφή χωρίς παροχή από το δίκτυο της ΔΕΗ.

Όταν, εκτός από την προτεραιότητα των TRXs, έχουμε και κριτήρια παρεμβολών, τότε πρέπει οι τιμές των παραμέτρων *CNThreshold* και *InterferenceAveragingProcess* να είναι πολύ προσεκτικά καθορισμένες, έτσι ώστε σε περίπτωση συμφόρησης (congestion), όπου όπως είναι φυσικό έχουμε απότομη αύξηση των παρεμβολών λόγω ενεργοποίησης πολλών MT αλλά και TRX που ήταν αδρανή, μπορεί να μην έχουμε ανάθεση καναλιών κίνησης, διότι η τιμή που έχει καθοριστεί να είναι πολύ αυστηρή. Γι' αυτό, τα μεγέθη των παραπάνω τιμών, θα πρέπει να είναι τέτοια, ώστε να μην έχουμε κακή ποιότητα ήχου, προβλήματα με απόρριψη κλήσεων και ξανά-ανάθεση αυτών των καναλιών με το ίδιο αποτέλεσμα, αλλά και να μην είναι τόσο αυστηρά, δηλαδή να μην υποστηρίζουν και περιπτώσεις στιγμιαίας αυξημένης τιμής παρεμβολών.

8.4 Παράδειγμα

Στο παρακάτω παράδειγμα μπορούμε να δούμε τα θετικά αποτελέσματα που έχουμε μετά την εφαρμογή αυτής της τεχνικής στο Blocking probability, ειδικά σε υπηρεσίες multislot, όπου ζητείται ανάθεση παραπάνω από 1 RTSL. Ο τύπος που μπορεί να μας δώσει το Blocking probability για την ανάθεση m καναλιών είναι ο παρακάτω.

$$GOS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n \binom{T_i}{m}}{n} \cdot (1 - GOS_{SingleSlot})$$

όπου n = αριθμός TRXs , T_i = αριθμός ελεύθερων καναλιών TCHs στο ' i ' TRX,
 m = αριθμός των υπό ανάθεση καναλιών TCHs και $GOS_{SingleSlot}$ το Blocking probability κα-
 τά Erlang B για ανάθεση 1 καναλιού στο ίδιο σύστημα με τις ίδιες συνθήκες κίνησης.

Ο συνδυασμός $\binom{T}{m}$ μας δίνει, πόσες ομάδες m καναλιών μπορούμε να πάρουμε από τα T συ-
 νολικά ελεύθερα κανάλια.

Στο παρακάτω παράδειγμα Πίνακας 8-1, έχουμε 1 BTS με 3 TRXs.

	TRX 1 (BCCH)	TRX 2	TRX3
Without prioritiza- tion in the BCCH	4	2	1
With prioritization in the BCCH	7	0	0

Πίνακας 8-1: TRX prioritization and channel availability for multislot allocation

8.4.1 Χωρίς προτεραιότητα ανάθεσης στο BCCH

Το $GOS_{SingleSlot}$ για απλή ανάθεση ενός καναλιού από τον Erlang B table για 8 Erl προσφερό-
 μενη κίνησης και 23 κανάλια, $GOS_{SingleSlot} = 0\%$.

$$X = \binom{3}{3} + \binom{6}{3} + \binom{7}{3} = 0.356$$

$$GOS = 1 - \frac{0.356}{3} \cdot (1 - GOS_{SingleSlot}) = 1 - 0.1187 \cdot (1 - 0) = 0.88$$

$$GOS_{MultiSlot} = 88\%$$

8.4.2 Με προτεραιότητα ανάθεσης στο BCCH

$$X = \binom{0}{3} + \binom{8}{3} + \binom{8}{3} = 2$$

$$GOS = 1 - \frac{2}{3} \cdot (1 - GOS_{SingleSlot}) = 1 - \frac{2}{3} \cdot (1 - 0) = 0.33$$

$$GOS_{MultiSlot} = 33\%$$

Παρατηρούμε μια θεαματική βελτίωση της τάξεως του 55%, που οφείλεται στην καλύτερη
 ομαδοποίηση των χρησιμοποιούμενων καναλιών που επιτυγχάνεται από αυτή την τεχνική

9 Διαδικασία ενημέρωσης θέσης (Location Update)

9.1 Εισαγωγή

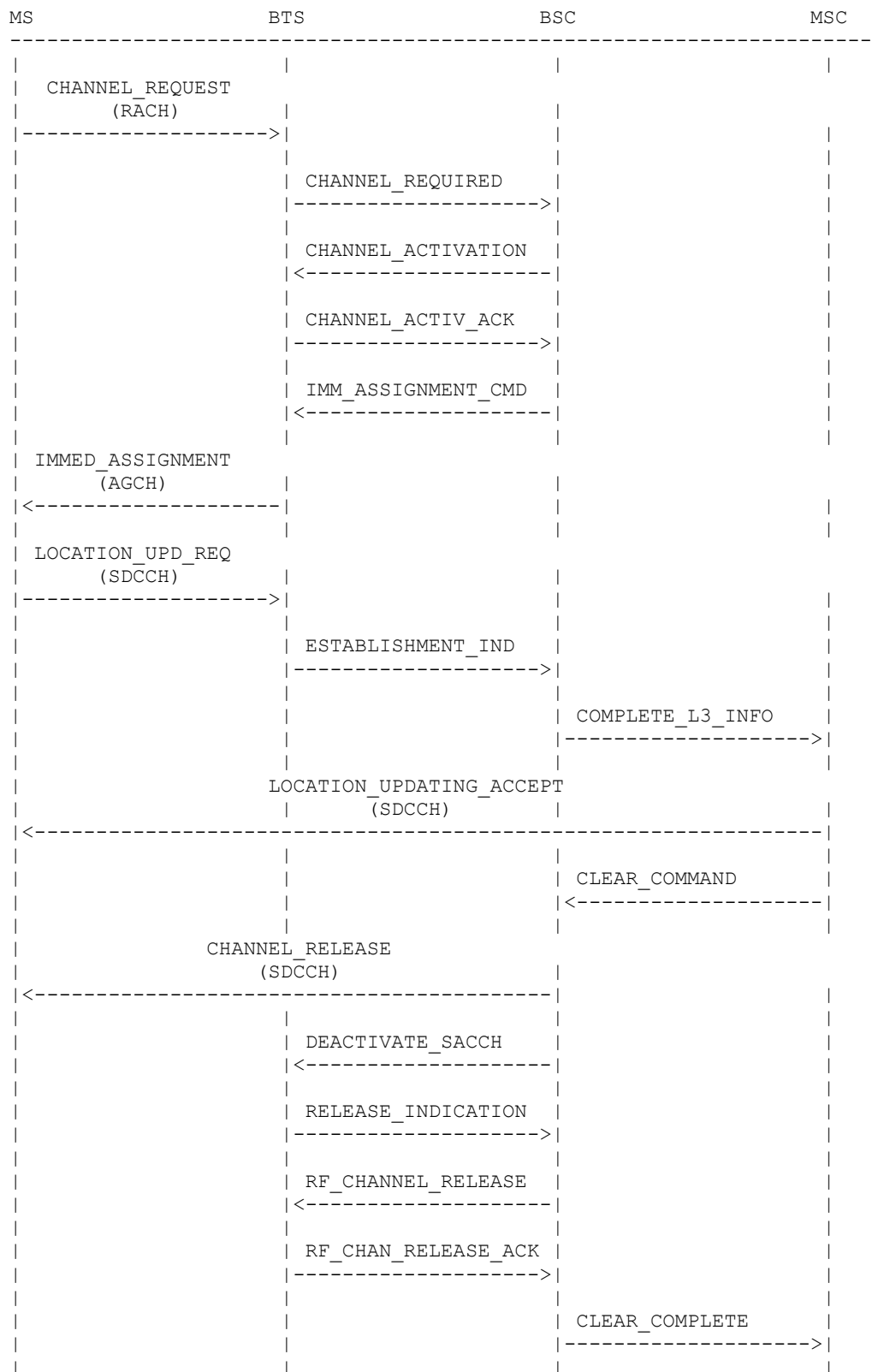
Το σύστημα GSM/DCS για την παροχή επικοινωνιών σε πολύ μεγάλες γεωγραφικές εκτάσεις, πρέπει να παρακολουθεί την κινητικότητα του κάθε χρήστη, έτσι ώστε να είναι δυνατός ο άμεσος εντοπισμός του, όταν υπάρξει ζήτηση για κάποια σύνδεση π.χ. εισερχόμενη κλήση (mobile terminating call). Οι λειτουργίες ενημέρωσης θέσης (Location Update) και αναζήτησης (Paging) παρέχουν την δυνατότητα εντοπισμού του χρήστη. Έτσι η κλασσική τεχνική για την παρακολούθηση της κινητικότητας ενός MT, είναι η διαίρεση της περιοχής ραδιοκάλυψης του δικτύου σε περιοχές εντοπισμού (Location Areas, LA). Δηλαδή, κάθε περιοχή εντοπισμού αποτελείται από ένα σύνολο BTS, που κατά κανόνα ανήκουν στο ίδιο BSC που καθορίζει και το LA. Έτσι, κάθε BTS αυτής της ομάδας εκπέμπει, στα κανάλια ελέγχου CCCH και συγκεκριμένα στον υποδιάυλο BCCH, συνεχώς τον κωδικό της περιοχής εντοπισμού (Location Area Code, LAC) που δίνεται σε δεκαεξαδική μορφή. Έτσι, όταν ένας χρήστης μπαίνει σε μια καινούργια LA, τότε λαμβάνει χώρα μια διαδικασία ενημέρωσης θέσης LU, έτσι ώστε το δίκτυο να έχει την πληροφορία για το που θα γίνει αναζήτηση για την διεξαγωγή μιας εισερχόμενης κλήσης. Τούτο, αντιστοιχεί σε μια διαδικασία ενημέρωσης της βάσης δεδομένων του συστήματος VLR, με ταυτόχρονη χρήση όλων των ενδιάμεσων διεπαφών. Δηλαδή, όταν μια νέα κλήση απευθύνεται προς ένα MT, τότε γίνεται ερώτηση στη σχετική βάση δεδομένων VLR για να βρεθεί σε ποια LA βρίσκεται. Δηλαδή, με βάση την πληροφορία θέσης, που αποκτάται από τη βάση δεδομένων, πραγματοποιείται η αναζήτηση στην συγκεκριμένη LA αντί σ' ολόκληρο το δίκτυο, πράγμα που θα ήταν καταστρεπτικό διότι θα χρειαζόμαστε πολύ μεγάλο αριθμό καναλιών αναζήτησης PCH, τ' οποίο θα δημιουργούσε συμφόρηση και πολύ κακή αξιοποίηση των πόρων του συστήματος (utilization).

9.2 Αναλυτική περιγραφή της διαδικασίας

Όπως αναφέραμε και παραπάνω η διαδικασία LU συνοψίζεται στα εξής:

Ο σταθμός βάσης BTS εκπέμπει συνεχώς τον κωδικό της περιοχής εντοπισμού (Location Area Code, LAC). Επίσης, το MT ακούει αυτούς τους διαύλους. Έτσι, όταν διαπιστώσει ότι το νέο BTS στο οποίο έκανε switch ανήκει σε διαφορετικό LA, δηλαδή το BTS εκπέμπει διαφορετικό LAC, τότε το MT ενημερώνει το δίκτυο για να είναι δυνατός ο εντοπισμός του μέσα σ' αυτήν την νέα LA. Η διαδικασία ανταλλαγής σηματοδοσίας, είναι η παρακάτω:

Βλέπουμε ότι όλη η διαδικασία καταλαμβάνει κανάλια σηματοδοσίας SDCCH στα οποία έχουμε σοβαρότατο πρόβλημα σε περιόδους συμφόρησης (congestion). Γι' αυτό χρειάζεται πολύ προσεκτική μελέτη της περιοχής ραδιοκάλυψης, έτσι ώστε να έχουμε όσο το δυνατό λιγότερα LU, καθώς και όσο το δυνατό λιγότερο paging, παρ' ότι αυτά τα δυο είναι άμεσα αλληλοσυγκρουόμενα.



Σχήμα 9-1: Περιγραφή της αλληλουχίας του Location Update

Στο GSM/DCS οι πληροφορίες που σχετίζονται με την κινητικότητα του MT, αποθηκεύονται σε δυο τύπους βάσεων δεδομένων (καταχωρητές) του δικτύου: τον Οικείο Καταχωρητή Θέσης (Home Location Register, HLR) και τον Καταχωρητή Θέσης Επισκεπτών (Visited Loca-

tion Register, VLR). Οι πληροφορίες που περιέχονται στους καταχωρητές HLR και VLR, παρουσιάζουν μικρές διαφορές μεταξύ τους. Ειδικότερα:

α) Ο HLR περιέχει στατική και δυναμική πληροφορία σχετικά με τον χρήστη.

Η στατική πληροφορία είναι:

- 1) ο αριθμός κλήσης του κινητού συνδρομητή (Mobile Subscriber Number, MSN),
- 2) η διεθνής ταυτότητα του συνδρομητή (International Mobile Subscriber Identity, IMSI),
- 3) το κλειδί ελέγχου αυθεντικότητας ki,
- 4) καθώς και συμπληρωματικές πληροφορίες που αφορούν τις βασικές και τις συμπληρωματικές υπηρεσίες που περιλαμβάνονται στην συνδρομή κ.α.

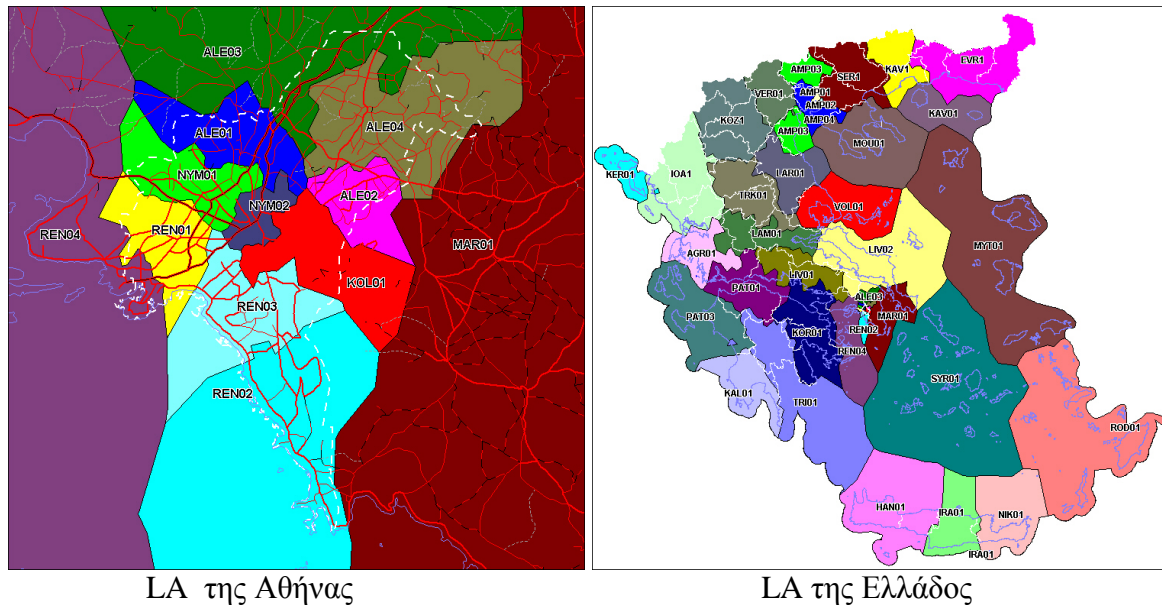
Η δυναμική πληροφορία περιλαμβάνει:

- 1) τις παραμέτρους ελέγχου αυθεντικότητας και κρυπτογράφησης (authentication & security data),
- 2) τον αριθμό περιαγωγής του MT (Mobile Station Roaming Number, MSRN),
- 3) την διεύθυνση του καταχωρητή VLR ή αντίστοιχα την ταυτότητα της LA,
- 4) την κατάσταση του MT (ενεργοποιημένο ή απενεργοποιημένο),
- 5) προσωρινές πληροφορίες σχετικές με τις υπηρεσίες που χρησιμοποιεί.

β) Ο VLR περιέχει αντίστοιχη στατική και δυναμική πληροφορία με τον HLR, αλλά επιπλέον και την προσωρινή ταυτότητα του κινητού συνδρομητή (Temporary Mobile Subscriber Identity, TMSI) η οποία έχει πολύ μικρότερο μέγεθος από την IMSI και μπορεί να ξαναχρησιμοποιείται. Δηλαδή η τοπικότητα της ισχύει για κάθε BSC. Χρησιμοποιείται επειδή έχει μικρότερο μέγεθος από τον IMSI, μ' αποτέλεσμα εξοικονόμηση των δικτυακών πόρων σε εύρος και ταχύτητα γενικώς.

Τονίζεται ότι κάθε φορά που έχουμε LU γίνεται ενημέρωση της πληροφορίας των HLR και VLR, στην περίπτωση που η νέα LA ανήκει σε διαφορετικό VLR. Δηλαδή, το MT εγγράφεται στον νέο VLR, ο οποίος στέλνει με την σειρά του την πληροφορία με την νέα LA στον HLR που είναι εγγεγραμμένος ο χρήστης. Στην συνέχεια, ο HLR ενημερώνει τον παλιό VLR, ώστε να διαγράψει την εγγραφή που σχετίζεται μ' αυτόν τον χρήστη, καθώς στέλνει στον νέο VLR νέο αντίγραφο του προφίλ υπηρεσιών που δικαιούται ο χρήστης. Μια εναλλακτική εφαρμογή της διαδικασίας στέλνει το προφίλ υπηρεσιών στον νέο VLR μόνο όταν χρειαστεί, π.χ. όταν καταφθάσει μια νέα κλήση γι' αυτόν τον χρήστη ή όταν αυτός θέλει να πραγματοποιήσει μια κλήση. Παρατηρούμε πόσο πολύπλοκη είναι μια LU καθώς και πόσο μεγάλο αριθμό δικτυακών πόρων καταλαμβάνει σ' όλες τις διεπαφές του δικτύου. Η παραπάνω φόρτιση του δικτύου είναι δυσμενής και οδηγεί σε συμφόρηση σε περιπτώσεις αυξημένης κίνησης. Έτσι, για την βελτιστοποίηση της επίδοσης του δικτύου έχουν προταθεί διαφορές μέθοδοι LU, οι οποίες μπορεί να διακριθούν σε μεθόδους που βασίζονται: σε ζώνες κάλυψης, στο προφίλ του χρήστη, στον χρόνο, στην κίνηση του χρήστη και στην απόσταση που διανύει.

Η μέθοδος που είναι και η state of the art, είναι ο χωρισμός της ραδιοκαλυπτόμενης έκτασης σε LA. Γι' αυτήν την μέθοδο χρειάζεται πολύ καλή μελέτη για το μέγεθος της LA καθώς και για την τοπολογία τους. Συνήθως, όσο πιο πυκνοκατοικημένη είναι μια περιοχή τόσο πιο μικρής έκτασης θα είναι η LA, π.χ. η Αθηνά έχει αρκετές LA, ενώ π.χ. η περιοχή των Κυκλάδων είναι μια ενιαία LA, όπως φαίνεται και στην εικόνα των LA ενός πραγματικού δικτύου Σχήμα 9-2.



Σχήμα 9-2: Περιοχές Εντοπισμού στην Αττική και Ελλάδα

Επίσης, στις πυκνοκατοικημένες περιοχές, όπως η Αθήνα, ο χωρισμός των LA γίνεται έτσι ώστε τα όριά τους να συμπίπτουν με φυσικά εμπόδια όπως βουνά, π.χ. Υμηττός, καθώς και να κόβουν κάθετα κεντρικούς δρόμους με πολύ αυξημένη κυκλοφοριακή κίνηση. Μια κακή σχεδίαση των LA, θα δημιουργήσει έναν μεγάλο αριθμό LU που θα επιβαρύνει την λειτουργία του δικτύου, αφού θα αυξηθούν υπερβολικά η ζήτηση πόρων σηματοδοσίας σε SDCCHs που χρειάζονται για το LU. Άλλη μια μέθοδος της ίδιας κατηγορίας είναι η μέθοδος του κέντρου αναφοράς (reporting center). Με την μέθοδο αυτή, επιλέγονται μερικά BTS του συστήματος ως κέντρα αναφοράς. Όταν ένα κινητό τερματικό μπαίνει σε κάποιο κέντρο αναφοράς, τότε πραγματοποιείται LU. Όταν καταφθάνει νέα κλήση που απευθύνεται προς το συγκεκριμένο MT, τότε πραγματοποιείται αναζήτηση (paging) στην περιοχή του κέντρου αναφοράς όπου και έγινε και το τελευταίο LU. Ένα μειονέκτημα των μεθόδων που βασίζονται στις ζώνες κάλυψης είναι η στατικότητα. Δηλαδή, το μέγεθος της LA είναι σταθερό ή η επιλογή των κέντρων αναφοράς είναι στατική. Ένα άλλο μειονέκτημα των μεθόδων που βασίζονται σε ζώνες κάλυψης είναι ότι δεν λαμβάνεται υπόψη η διαφορετική κινητικότητα των χρηστών. Επίσης, στην μέθοδο του κέντρου αναφοράς μπορεί να συμβεί να μην πραγματοποιήσει το MT LU για κάποιο μεγάλο χρονικό διάστημα, ακόμη και αν κινείται πολύ, διότι δεν θα τύχει να μπει σε κάποια κυψέλη που είναι κέντρο αναφοράς. Το γεγονός αυτό έχει ως συνέπεια ένα πολύ μεγάλο αριθμό μηνυμάτων paging, όταν χρειαστεί να εντοπιστεί το MT. Επίσης, δεν μπορεί να γίνει αλλαγή του μεγέθους της LA ή των συνόρων σε περιπτώσεις μετακίνησης του πληθυσμού, καθ' ότι αυτό θα βομβάρδιζε το δίκτυο από ομαδικά LU. Σημειώνουμε ότι οι operator επιχειρούν συνεχώς αλλαγές στα LAs, έτσι ώστε να βελτιστοποιήσουν το δίκτυο. Οι αλλαγές αυτές γίνονται τα Σαββατοκύριακα και σε ώρες ελαχίστης κίνησης (αργά το βράδυ), έτσι ώστε να μπορούν να εξυπηρετηθούν τα ομαδικά LU που θα προκληθούν από αυτήν την αλλαγή, χωρίς την πρόκληση συμφόρησης.

Στην μέθοδο που βασίζεται στο προφίλ του χρηστή, διατηρείται από το σύστημα ένας κατάλογος με τις πιο πιθανές περιοχές εντοπισμού που μπορεί να βρίσκεται το MT. Όταν το MT βρίσκεται σε LA που περιέχονται στον κατάλογο που είναι αποθηκευμένος στην SIM (Subscriber Identity Module), δεν χρειάζεται να πραγματοποιείται LU. Σε διαφορετική περίπτωση, πραγματοποιείται LU σύμφωνα με την κλασική μέθοδο. Για κάθε κλήση που καταλήγει σε MT, γίνεται αναζήτηση στις LA του καταλόγου, αρχίζοντας από την πιο πιθανή. Έτσι, η παραπάνω μέθοδος μπορεί να περιορίζει σημαντικά το φορτίο σε σηματοδοσία που χρειάζεται

για LU, ενώ απαιτείται από το σύστημα να διατηρεί κατάλογο με τις πιθανότερες LA για κάθε χρήστη. Παρατηρούμε όμως ότι αν οι LA που περιέχονται στον κατάλογο κάποιου χρήστη δεν είναι γειτονικές, ο ρυθμός LU θα είναι ο ίδιος με εκείνο της κλασσικής μεθόδου. Ακόμα η μέθοδος αυτή είναι ακατάλληλη για χρήστες με πολλή μικρή κινητικότητα καθώς και για χρήστες με τυχαία κίνηση.

Σε αντίθεση με τις προηγούμενες μεθόδους, οι μέθοδοι που βασίζονται στον χρόνο, στην κίνηση και στην απόσταση είναι δυναμικές, υπό την έννοια ότι λαμβάνονται υπόψη η κινητικότητα κάθε χρηστή και ο τρόπος που αυτός πραγματοποιεί κλήσεις, προκειμένου να καθοριστεί που και ποτέ θα γίνει LU για τον συγκεκριμένο χρηστή. Σύμφωνα με τις μεθόδους αυτές, που βασίζονται στον χρόνο, ένα MT πραγματοποιεί LU περιοδικά κάθε ορισμένο χρονικό διάστημα, που επιλέγεται από τον operator. Είναι δυνατό, αν είναι γνωστή η κατανομή πιθανότητας θέσης των χρηστών, να καθοριστεί μια ακολουθία από βέλτιστα χρονικά διαστήματα για κάθε χρηστή. Η τρέχουσα θέση του χρήστη και το αναμενόμενο κόστος αναζήτησης μπορεί να ληφθούν υπόψη για την απόφαση πραγματοποίησης ενημέρωσης θέσης. Ακόμα, υπάρχει μια μέθοδος βασισμένη στον χρόνο, στην οποία χρησιμοποιείται προσαρμοζόμενο κατώφλι και λαμβάνονται υπόψη και η δραστηριότητα του συστήματος και η δραστηριότητα των χρηστών στις αποφάσεις για LU. Δηλαδή, το MT πραγματοποιεί LU συχνότερα σε BTS με χαμηλό φορτίο και αραιότερα σε BTS με υψηλό φορτίο. Ένα μεγάλο μειονέκτημα των μεθόδων που βασίζονται στον χρόνο είναι η δυσκολία να ληφθούν υπόψη οι περιορισμοί στην καθυστέρηση αναζήτησης, ενώ τίθεται άνω φράγμα για το κόστος αναζήτησης. Το state of the art είναι ότι η μέθοδος LU βασισμένη στον χρόνο χρησιμοποιείται βοηθητικά στα δίκτυα. Δηλαδή, τα MT κάνουν LU περιοδικά σε χρόνο που καθορίζεται από τον operator από την παράμετρο του μετρητή T3212 **timerPeriodicUpdatesMS (0.0 ... 25.5 hours)**, ο οποίος παίρνει τιμές από 000-240, π.χ η τιμή 5 σημαίνει ότι το MT θα κάνει LU σε $5*6=30$ λεπτά από την τελευταία χρονική στιγμή που είχε το MT χρησιμοποιήσει το δίκτυο για κλήση, αποστολή SMS ή και LU. Η Cosmote έχει τιμή 10, δηλαδή 1 ώρα (πρόσφατα άλλαξε σε 4 ώρες), η Panafon 30, δηλαδή 3 ώρες και η Telestet 60, δηλαδή 6 ώρες. Οι παραπάνω τιμές προέκυψαν από monitoring των δικτύων με Nokia MT. Ένα μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι το χρονικό διάστημα θα πρέπει να είναι αρκούντως μεγάλο έτσι ώστε να έχουμε περιορισμένο αριθμό από περιοδικά LU καθώς και αποσυσχέτιση των ομαδικών LU που θα υπάρξουν μετά από περίπτωση δικτυακής συμφόρησης, δηλαδή αν μια στιγμή (π.χ. περίπτωση σεισμού) έχουμε ταυτόχρονη προσπάθεια κλήσεως από πολλούς χρήστες, τότε μετά από το καθορισμένο χρονικό διάστημα θα έχουμε καταιγισμό του δικτύου από LU, ενώ αν είναι αρκούντως μεγάλο, ο αριθμός των MT που θα κάνουν μαζί το προγραμματισμένο LU θα είναι μικρότερος. Δεν θα πρέπει όμως να είναι και τόσο μεγάλο, διότι σε περίπτωση όπου έχουμε απρόβλεπτη αποσύνδεση του MT από το δίκτυο χωρίς σχετική αναφορά αποσύνδεσης, π.χ πτώση τάσεως στην μπαταρία, MT εκτός εμβέλειας, τότε θα έχουμε αναζήτηση χωρίς λόγο, που θα είχε αποφευχθεί. Πιστεύουμε πάντως ότι η τιμή της μιας ώρας που έχει θεσπίσει η Cosmote είναι πολύ μικρή δημιουργώντας πολύ μεγάλο φορτίο σε σηματοδότη SDCCH για LU, όπως φαίνεται και από την μελέτη των σχετικών δεικτών. Επίσης, όσο πιο συχνά είναι τα περιοδικά LU, τόσο πιο πολύ περιορίζεται και η αυτονομία της μπαταρίας ενός MT.

Στην μέθοδο που βασίζεται στην κίνηση, ένα MT πραγματοποιεί LU όταν συμπληρώσει καθορισμένο αριθμό κινήσεων διασχίζοντας όρια κυψελών. Δηλαδή γίνεται αναφορά της θέσης του όταν η απόσταση από το σημείο που πραγματοποίησε την προηγούμενη LU υπερβαίνει κάποιο κατώφλι απόστασης d . Και οι δυο αυτές μέθοδοι εξασφαλίζουν ότι το MT θα βρίσκεται σε περιοχή που θα απέχει απόσταση $d-1$ από την κυψέλη όπου έγινε η τελευταία LU, οπότε και το δίκτυο αναζητεί το MT σ' αυτήν την περιοχή, όταν υπάρχει εισερχόμενη κλήση. Ένα μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι το κινητό θα πρέπει να στέλνει burst αρκετά συχνά έτσι ώστε να μπορεί να μετράει την απόσταση από το τελευταίο BTS όπου έγινε το LU μέσω της παραμέτρου time advance (TA). Αυτό θα έχει επίπτωση στην διάρκεια ζωής της

μπαταρίας καθώς και επιπρόσθετο φορτίο στο κανάλι RACH και AGCH, που ίσως τελικά δημιουργεί πιο πολύ φορτίο απ' όσο κερδίζεται.

Από μελέτη της επίδοσης των δυο μεθόδων με απλοποιημένο μονοδιάστατο μοντέλο κίνησης, προέκυψε ότι η μέθοδος που βασίζεται στην απόσταση έχει την καλύτερη επίδοση και ότι η διαφορά μεταξύ των μεθόδων που βασίζονται στον χρόνο και στην κίνηση είναι μικρή και μηδενίζεται όσο μειώνεται ο ρυθμός LU. Παρατηρήθηκε επίσης, ότι η εφαρμογή της μεθόδου που βασίζεται στην απόσταση απαιτεί την μεγαλύτερη επιβάρυνση. Δηλαδή, απαιτείται από το MT γνώση της απόστασης μεταξύ όλων των BTS του δικτύου και το δίκτυο να μπορεί να παρέχει την πληροφορία σ' όλα τα MT με αποτελεσματικό τρόπο. Ενώ, στην μέθοδο που βασίζεται στον χρόνο απαιτείται ένας μόνο χρονομετρητής για την παρακολούθηση της χρονικής διάρκειας από την τελευταία LU ή γενικά χρήση του δικτύου από το MT. Ακόμα, στην μέθοδο που βασίζεται στην κίνηση, απαιτείται η ύπαρξη μετρητών κινήσεων.

9.3 Παραδείγματα

Το μέγεθος των LA θα πρέπει να εξαρτάται από την κινητικότητα των χρηστών στην συγκεκριμένη περιοχή, την πυκνότητα των χρηστών, κ.α.

Π.χ. ο χωρισμός μιας πόλης σ' έναν μικρό αριθμό, μεγάλων σ' έκταση LA έχει ως αποτέλεσμα: α) μέτριο αριθμό LU αλλά β) υψηλό φορτίο σηματοδοσίας, λόγω αναζήτησης ανά περιοχή εντοπισμού. Αντιθέτως, η θεώρηση μεγάλου αριθμού μικρών σε μέγεθος περιοχών εντοπισμού, δημιουργεί: α) τεράστιο αριθμό LU και β) μέτριο φορτίο σηματοδοσίας, λόγω αναζήτησης ανά LA.

Είναι φανερό, ότι τόσο ο σχεδιασμός των LA (μέγεθος, σχήμα, θέση, διάταξη των περιοχών εντοπισμού, τοποθέτηση των συνόρων) όσο και η στρατηγική αναζήτησης μέσα στην LA είναι μεγάλης σημασίας σε πυκνοκατοικημένες γεωγραφικές περιοχές, αφού καθορίζουν τις απαιτήσεις σε σηματοδοσία (LU και paging) και τον ρυθμό προσβάσεων στη βάση δεδομένων για την διαδικασία LU. Παρατηρούμε ότι θα πρέπει να επιλέγεται πολύ προσεκτικά το βέλτιστο μέγεθος μιας LA, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η ελάχιστη επιβάρυνση σε σηματοδοσία για αναζήτηση και LU. Και αυτό για να έχουμε βέλτιστη αξιοποίηση των πόρων του συστήματος. Θα πρέπει ν' αναφερθεί ότι σε περιόδους κανονικής κίνησης δεν εμφανίζονται προβλήματα, αλλά με το που υπάρξει αυξημένη ζήτηση σε κανάλια σηματοδοσίας τότε εμφανίζεται γενική συμφόρηση σ' όλους τους πόρους του δικτύου (SDCCH, AGCH, Abis, A interface).

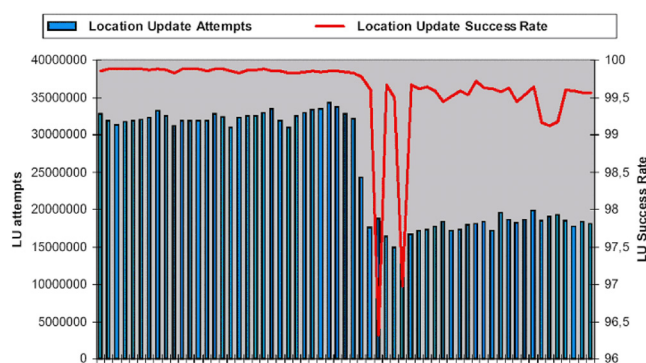
Όπως είπαμε παραπάνω θέλουμε να έχουμε το ελάχιστο κόστος σε σηματοδοσία για LU. Αυτό, όπως είναι πολύ εύκολο να καταλάβουμε, επιτυγχάνεται με μεγάλης έκτασης LA. Όμως, ταυτόχρονα, θέλουμε και το ελάχιστο κόστος σε σηματοδοσία για αναζήτηση, όπου επιτυγχάνεται με μικρής έκτασης LA. Βλέπουμε ξεκάθαρα να υπάρχει σύγκρουση μεταξύ των δυο κριτηρίων. Μπορούμε να υιοθετήσουμε μια μέθοδο στην οποία μια μεγάλης έκτασης LA περιέχει πολλές περιοχές αναζήτησης Paging Area, PA. Στην κλασσική μέθοδο μια LA έχει μια PA. Δηλαδή, αν υπάρχει εισερχόμενη κλήση για έναν χρήστη τότε η αναζήτηση θα γίνει αρχικά στο PA όπου έγινε το τελευταίο LU. Αν δεν βρεθεί σ' αυτήν την PA τότε θα αναζητηθεί στις άλλες PA της LA. Εδώ θα μπορούσαν να εφαρμοστούν και κριτήρια πρόβλεψης για το ποιες θα είναι οι εναλλακτικές PA στις οποίες θα γίνει η αναζήτηση. Παρατηρούμε ότι η παραπάνω μέθοδος καταφέρνει μεγάλο κέρδος ειδικά στην περίπτωση χρηστών με μικρή κινητικότητα. Αντιθέτως μπορεί να επιβαρύνει το δίκτυο με επιπλέον σηματοδοσία για χρήστες με μεγάλη κινητικότητα. Κάνουμε την παρατήρηση ότι το φορτίο σηματοδοσίας για αναζητήσεις είναι ανάλογο με το μέγεθος της PA, ενώ το φορτίο για LU είναι αντιστρόφως ανάλογο της τετραγωνικής ρίζας του μέγεθους της LA. Δηλαδή, για να έχουμε μια περαιτέρω μείωση του φορτίου σηματοδοσίας θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί μια μικρότερης έκτασης PA. Το μέγεθος της LA και PA μπορεί να βελτιστοποιηθεί σύμφωνα με τις συνθήκες κίνησης. Το φορ-

τίο σηματοδοσίας μπορεί να μειωθεί ακόμη περισσότερο, αν ληφθούν υπόψη τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των διαφόρων χρηστών. Για παράδειγμα, οι σχεδόν στάσιμοι χρήστες προκαλούν λίγες LU, γεγονός που υπαγορεύει μικρότερες LA για την βελτίωση της αναζήτησης. Αντιθέτως, οι γρήγορα μετακινούμενοι χρήστες παράγουν πολλά LU, γεγονός που σημαίνει ότι χρειαζόμαστε μεγαλύτερες LA. Οπότε, η ομαδοποίηση των χρηστών μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να επιτευχθεί υψηλή επίδοση στο σύστημα. Έτσι, οι χρήστες διαιρούνται σε διάφορες ομάδες. Κάθε ομάδα διαθέτει τις δικές της παραμέτρους διαχείρισης εντοπισμού, δηλαδή μέγεθος της LA, που βελτιστοποιούνται σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά αυτής της ομάδας (κινητικότητα, ρυθμός αφίξεων κλήσεων). Συνεπώς, η διαχείριση εντοπισμού βελτιστοποιείται για όλα τα είδη κινητικότητας και κλήσεων, γεγονός που προφανώς μειώνει το συνολικό κόστος. Υπάρχει και κάτι που πρέπει να τονίσουμε και που επηρεάζει μερικώς την σωστή λειτουργία του δικτύου. Όλες σχεδόν οι LU γίνονται στα ακραία BTS των LA. Άρα, θα πρέπει σ' αυτά τα BTS να έχουμε αφιερώσει παραπάνω κανάλια σηματοδοσίας SDCCH απ' ότι στ' άλλα BTS. Ειδικά αυτό είναι έντονο σε BTS που κόβουν κάθετα δρόμους με πυκνή κίνηση. Αυτό όμως δεν βελτιστοποιεί την αξιοποίηση των πόρων του δικτύου. Γι' αυτό προτείνεται μια μέθοδος που κατακερματίζει αυτό το συσσωρευμένο φορτίο σηματοδοσίας σ' ορισμένα BTS. Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε μια ομαδοποίηση, χωρίς κριτήρια κινητικότητας που είναι δύσκολο να καθοριστούν. Έτσι, οι χρήστες διαιρούνται σε διάφορες ομάδες, σε κάθε μια από τις οποίες ανατίθενται οι δικές της LA. Οι LA διαφορετικών ομάδων αντιστοιχούν σε διαφορετικές γεωγραφικές περιοχές στο δίκτυο, έτσι ώστε να προκύπτει σχεδόν ομοιόμορφο φορτίο σε σηματοδοσία SDCCH σ' όλα τα BTSs, λόγω των LU. Αυτό απαιτεί από το broadcast TRX να εκπέμπει από τον αντίστοιχο BCCH πολλά LAC.

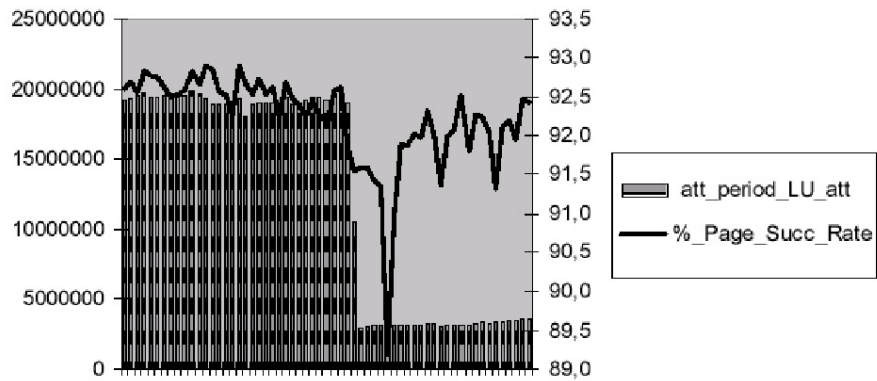
9.3.1 1ο Παράδειγμα

Τα στοιχεία που παρατίθενται Σχήματα 9-3 και 9-4, είναι από πραγματική εφαρμογή σε δίκτυο κινητής τηλεφωνίας.

Έστω ότι ένα δίκτυο κινητής τηλεφωνίας αλλάζει την παράμετρο του μετρητή περιοδικού T3212 LU από 1 ώρα σε 4 ώρες. Αυτή η αλλαγή είχε ως αποτέλεσμα μείωση της χρήσης των SDCCHs πόρων κατά 10 %, αφού ελαττώθηκε σημαντικά ο αριθμός των LU, ενώ υπήρξε μια πολύ μικρή αύξηση 0,5% στα PCCHs που χρησιμοποιούνται για paging.



Σχήμα 9-3: timerPeriodicUpdatesMS=10 δηλαδή 1 ώρα



Σχήμα 9-4: timerPeriodicUpdatesMS=40 δηλαδή 4 ώρες

9.3.2 2ο Παράδειγμα

Χωρητικότητα σε υποδιαύλους SDCCH

Έχουμε ένα BTS με 2 TRXs, ακολουθούν τα στοιχεία αναλυτικά:

$$2 \text{ TRXs/Cell} \Rightarrow 8,11 \text{ Erl/Cell}$$

1% blocking probability

1,5 minute/call/subscriber/Busy Hour

Χρησιμοποίηση SDCCH για:

LU κάθε 60 minutes,

Ανάθεση κλήσης 7sec/Call περιλαμβανομένης κρυπτογράφησης και αυθεντικότητας.

Πυκνότητα κίνησης: 25mErl/Subs => 325Subs/Cell

Αποκατάσταση κλήσης

Κράτηση χρόνου σε SDCCH

$$7 \text{ sec} / 3600 \text{ sec} = 1,94 \text{ mErl}$$

$$325 \text{ Calls/cell} * 1,94 \text{ mErl/Call} = 0,631 \text{ Erl/Cell (SDCCH)}$$

Ενημέρωση θέσης LU

Ενημέρωση θέσης κάθε μια ώρα

$$325 \text{ Calls/Cell} * 1,94 \text{ mErl/Call} = 0,631 \text{ Erl/Cell (SDCCH)}$$

Άρα η συνολική χωρητικότητα σε SDCCH είναι:

$$0,631 \text{ Erl/Cell} + 0,631 \text{ Erl/Cell} = 1,262 \text{ Erl/Cell (SDCCH)}$$

Από τον πίνακα κίνησης και καναλιών για κατανομή Erlang B και 1% blocking probability έχουμε ότι για να εξυπηρετηθεί η παραπάνω κίνηση χρειάζονται 5 υποδιαύλοι SDCCH.

9.4 Φαινόμενο “ping-pong”

Όταν ένας χρήστης μετακινείται κατά μήκος των συνόρων δυο LA, το φορτίο σηματοδοσίας λόγω ενημέρωσης θέσης μπορεί να αυξάνει λόγω της κίνησης ζιγκ-ζαγκ που κάνει ο χρήστης ανάμεσα στις γειτονικές LA. Αυτό το πρόβλημα μπορεί να εξαλειφθεί με την εισαγωγή της έννοιας της περιοχής επικάλυψης. Δηλαδή, μόνο όταν ο χρήστης διασχίζει τα όρια της περιοχής επικάλυψης, γίνεται ενημέρωση θέσης. Έτσι, στην περιοχή επικάλυψης ο χρήστης ανήκει σε μια μόνο LA και δεν απαιτείται καμία ενημέρωση θέσης, καθώς επίσης σ’ αυτές τις περιοχές γίνεται αναζήτηση που απευθύνεται στις επικαλυπτόμενες LA. Αυτή η μέθοδος αυξάνει στις περιοχές επικάλυψης το φορτίο σηματοδοσίας σε αναζήτηση. Υπάρχει όμως και η παράμετρος *reselection hysteresis* με τιμές από $H=0-63$, η οποία δίνει μια υστέρηση στο MT έτσι ώστε ν’ αποφευχθεί το φαινόμενο ‘ping-pong’. Δηλαδή όταν ένα MT βρίσκεται στα όρια δυο LA τότε θα γίνει LU μαζί με το *reselection*, μόνο εφόσον το σήμα του BTS της καινούργιας LA είναι H dB πάνω από το σήμα της τρέχουσας.

Μια άλλη μέθοδος που μπορεί να εφαρμοστεί είναι να γίνεται LU μόνο εφόσον και τα 7 BTS που παρακολουθεί το MT ανήκουν στο ίδιο LAC. Δηλαδή το MT έχει εισέλθει εξ’ ολοκλήρου στην νέα LA. Είναι όμως προφανές ότι θα πρέπει να υπάρχουν PA με επικάλυψη και μάλιστα να έχει γίνει από τον operator σωστή πρόβλεψη στην έκταση της επικαλυπτόμενης περιοχής.

10 Κράτηση φάσματος (*Bandwidth-Trunk Reservation Algorithm, Prioritisation*)

10.1 Εισαγωγή

Η κράτηση φάσματος είναι ένας στοχαστικός αλγόριθμος που ασχολείται με την ανάθεση καναλιών κίνησης σε μια κυψέλη. Ο αρχικός σκοπός αυτής της λειτουργίας είναι να επιτρέψει την κοινή χρήση πόρων σε TCHs μεταξύ χρηστών που ανήκουν σε διαφορετικές κατηγορίες, π.χ. χρηστές GSM, χρηστές MCN (Micro Cellular Network), κ.α. Όμως, αυτός ο αλγόριθμος μπορεί να εξασφαλίσει τον συντονισμό του διαχωρισμού των υπηρεσιών μεταξύ των χρηστών που ανήκουν σε διαφορετικές ομάδες προτεραιότητας. Μια τέτοια μέθοδος εγγυάται ότι η ομάδα με την υψηλότερη προτεραιότητα θα έχει πολύ πιο μικρή πιθανότητα απόρριψης της κλίσης από ένα χρήστη με μικρότερη προτεραιότητα. Η μέθοδος του Bandwidth Reservation μπορεί να εφαρμοστεί για mobile originating calls αλλά και για mobile terminating calls. Ακόμα, η αίτηση για ανάθεση καναλιού κίνησης από διαπομπή, μπορεί να θεωρηθεί ως μια κατηγορία με την δικιά της προτεραιότητα.

10.2 Αναλυτική περιγραφή της διαδικασίας

Κάθε είδος προσπάθειας πρόσβασης σ' ένα BTS, που γίνεται από ένα MT, θεωρείται ότι ανήκει στο σύνολο των υπηρεσιών που μπορεί να προσφέρει. Έτσι, έχουν καθοριστεί τύποι υπηρεσιών που μπορούν να παραχθούν και επιπλέον κάποια σχετικά χαρακτηριστικά των συνδρομητών. Ένα κατώφλι αποφάσεων έχει καθοριστεί ως μια λειτουργία που σχετίζεται με τον αριθμό των ελεύθερων TCHs καναλιών.

Όταν είναι σε εφαρμογή ο αλγόριθμος κράτησης φάσματος, μια τυχαία μεταβλητή R συγκρίνεται με το κατώφλι που έχει καθοριστεί από τον operator, έτσι ώστε να αποφασιστεί αν θα γίνει ανάθεση ενός ελεύθερου καναλιού TCH. Η τυχαία τιμή της R κατανέμεται ομοιόμορφα μεταξύ 0 και της τιμής **randomValueLimit** την οποία καθορίζει ο operator του δικτύου, αναλόγως με το τι θέλει να επιτύχει. Τονίζεται ότι η τιμή της μεταβλητής R επανακαθορίζεται σε κάθε αίτηση κλήσεως. Οι δυνατές τιμές ($X_{ij} = \text{decisionThresholdValues}$) παρατίθενται στον παρακάτω Πίνακα 10-1:

Idle TCHs	Traffic Type		
	1	2	...
1	10	5	
2	20	10	
3	30	20	X_{ij}
.	.	.	
.	.	.	
.	.	.	
Q	$XQ1$	$XQ2$	

Πίνακας 10-1: Πίνακας αποφάσεων

Η πρόσβαση γίνεται δεκτή (δηλαδή γίνεται ανάθεση του δικτυακού πόρου που ζητήθηκε) αν και μόνο αν, $R < X_{ij}$, με i και j αντιστοιχούν με τον αριθμό των ελεύθερων καναλιών αλλά και τον τύπο των καναλιών που ζητήθηκε από την αίτηση πρόσβασης (RACH). Επομένως, βλέπουμε, ότι μια πρόσβαση μπορεί να απορριφθεί, ακόμα και αν υπάρχουν ελεύθερα κανά-

λια. Έτσι, αν υπάρχουν περισσότερα από Q ελεύθερα TCHs (**freeTchLimit**), τότε όλες οι προσπάθειες πρόσβασης γίνονται δεκτές. Το τι είδους υπηρεσία ζητά ο χρήστης, είναι γνωστή από την αίτησή του στο RACH.

10.2.1 Παράδειγμα

Ένας χρήστης GSM προσπαθεί να κάνει μια κλήση για υπηρεσία φωνής (δηλ. Traffic type 2). Έχουμε 3 ελεύθερα TCHs στο BTS. Λόγω του γεγονότος ότι έχουμε λίγα διαθέσιμα TCHs (το Q μπορεί να είναι μέγιστο 16), το BSC θα πάρει την απόφαση σύμφωνα με τον Πίνακα 10-1 αποφάσεων X_{ij} . Έτσι, έχουμε ότι $X_{ij} = 20\%$. Οπότε, το BSC θα συγκρίνει την τυχαία τιμή της μεταβλητής R με την τιμή X_{ij} . Έτσι, διακρίνουμε τις παρακάτω περιπτώσεις:

- 1) Εάν $R = 8\% \rightarrow R < X_{ij} \rightarrow 8 < 20$, δηλαδή η προσπάθεια για εγκατάσταση κλήσης γίνεται δεκτή.
- 2) Εάν $R = 73\% \rightarrow R > X_{ij} \rightarrow 73 > 20$, δηλαδή η προσπάθεια για εγκατάσταση κλήσης δεν γίνεται δεκτή.

Σημειώνουμε, ότι οι τιμές στον πίνακα αποφάσεων μπορεί να καθοριστούν όπως θέλει ο operator, έτσι ώστε να έχει την δυνατότητα να κατανέμει το φορτίο ανάλογα με τις προτεραιότητες.

Υπάρχουν δυο αποκλειστικές μέθοδοι για τον διαχωρισμό μεταξύ διαφορετικών τύπων συνδρομητών. Η διάκριση μπορεί να γίνει σύμφωνα με την κλάση ισχύος του MT ή σύμφωνα με το επίπεδο προτεραιότητας της υπηρεσίας που ζητείται, η οποία καθορίζεται από το MSC. Πρέπει να σημειωθεί ότι η προσέγγιση “priority level” σημαίνει την προτεραιότητα που έχει η συγκεκριμένη αίτηση κλήσης που απονέμεται από το MSC και λαμβάνεται από το BSC στην αίτηση εκχώρησης ή διαπομπής. Ο τύπος προτεραιότητας του συνδρομητή είναι διαθέσιμος μόνο εάν η τελική μέθοδος γίνεται στο BSC. Ο καθορισμός μπορεί να γίνει με ειδικές παραμέτρους του BSC.

Η κλάση ισχύος εκπομπής που μπορεί να υποστηρίξει ένα MT ενδείκνυται στην MS class-mark. Οι δυνατές τιμές της μπορεί να κυμαίνονται από 1 (υψηλότερη ισχύς) έως 5 (χαμηλότερη ισχύς). Το επίπεδο προτεραιότητας μπορεί να έχει πολλές τιμές από το 1 (υψηλότερη προτεραιότητα) έως και 14 (χαμηλότερη προτεραιότητα).

10.3 Τύπος προτεραιότητας συνδρομητή

Εισάγοντας νέους τύπους συνδρομητών, έχει ως αποτέλεσμα, η αναλογία μεταξύ τύπου συνδρομητή και δικτύου να μην είναι πλέον σαφής, δηλαδή συνδρομητές διαφορετικού δικτύου μπορεί να παρουσιαστούν με τον ίδιο βαθμό προτεραιότητας.

Το είδος του τύπου της προτεραιότητας, στο οποίο ανήκουν οι διάφοροι συνδρομητές, π.χ. συνδρομή με πάγιο ή χωρίς, μπορεί να καθορίσει και τον τύπο της προτεραιότητας. Οι τύποι συνδρομητών που έχουν προτεραιότητα, είναι οι μόνοι συνδρομητές οι οποίοι έχουν την δυνατότητα να έχουν πρόσβαση σε συγκεκριμένο πλήθος εφεδρικών καναλιών προτεραιότητας μέσα (**nbrTCHForPrioritySubs 0-8**) σε μια κυψέλη. Έτσι, όταν ο αριθμός των καναλιών προτεραιότητας έχει καθοριστεί ίσως με το μηδέν και οι τύποι προτεραιότητας κίνησης έχουν προσαρτηθεί στον πίνακα αποφάσεων, δεν έχουν καμία εφαρμογή.

Η εφεδρεία σε κανάλια δίνει την δυνατότητα να χρησιμοποιήσουμε δυο εναλλακτικές μεθόδους δέσμευσης (**reservationMethod**) καναλιών κίνησης, δυναμικά ή στατικά. Η μέθοδος κράτησης καναλιών έχει νόημα μόνο όταν η προτεραιότητα του συνδρομητή δίνεται από το αρμόδιο BSC του BTS.

10.4 Στατική μέθοδος δέσμευσης (Static reservation method)

Στην μέθοδο στατικής δέσμευσης, πάντα τα κανάλια προτεραιότητας έχουν προσδιοριστεί για εκχώρηση μόνο σε συνδρομητές με προτεραιότητα. Τα υπόλοιπα κανάλια μένουν διαθέσιμα για τους άλλους χρήστες. Έτσι, σ' αυτή τη μέθοδο, ο αριθμός των δεσμευμένων καναλιών για χρήστες με προτεραιότητα, είναι στην πραγματικότητα ο αριθμός των κλήσεων υψηλής προτεραιότητας που μπορεί ταυτόχρονα να εξυπηρετήσει το BTS.

10.5 Δυναμική μέθοδος δέσμευσης (Dynamic reservation method)

Στην δυναμική δέσμευση καναλιών, ο αριθμός των καναλιών που κρατιούνται διαθέσιμα για χρήση από χρήστες υψηλής προτεραιότητας, βασίζεται στον αριθμό των καναλιών τα οποία πρέπει να μείνουν διαθέσιμα για τους συνδρομητές με προτεραιότητα μόνο, άσχετα με το πόσες προοδούν priority calls μεταφέρονται από το BTS.

Η επιλογή μεταξύ της στατικής και της δυναμικής μεθόδου για την δέσμευση εφεδρικών καναλιών κίνησης γίνεται ανά κυψέλη. Ακόμα, η μέθοδος αυτή, μπορεί να εφαρμόζεται μόνο για call set-up, ενώ σε περιπτώσεις εισερχομένων διαπομπών τα κανάλια προτεραιότητας είναι διαθέσιμα για όλους τους χρήστες.

Η διαδικασία της αναμονής σε ουρά (queuing) δεν εφαρμόζεται ποτέ σε αιτήσεις που έχουν απορριφθεί από τον αλγόριθμο δέσμευσης. Με άλλα λόγια, αν και μπορεί να επιτραπεί το queuing σε ένα BTS για call set-up ή για διαπομπή, η αίτηση για εκχώρηση πόρων δεν θα τοποθετηθεί στην ουρά εάν αναπαριστά ένα μη συνηθισμένο τύπο κίνησης και ο αλγόριθμος δέσμευσης έχει αρνηθεί την πρόσβαση στον συγκεκριμένο δικτυακό πόρο. Η προσπάθεια πρόσβασης απορρίπτεται λόγω συμφόρησης στο BTS, δηλαδή είτε δεν υπάρχουν διαθέσιμα ελεύθερα TCHs είτε από τον προαναφερθέντα στοχαστικό αλγόριθμο.

Εάν η προσπάθεια για πρόσβαση έχει ήδη γίνει δεκτή από τον αλγόριθμο ή από κάποια άλλη διαδικασία, αλλά κανένα TCH δεν ικανοποιεί τις επιπλέον προϋποθέσεις (επίπεδο παρεμβολών), τότε η αίτηση εκχώρησης καναλιού κίνησης μπορεί να τοποθετηθεί σε ουρά, εάν αυτό υποστηρίζεται από το δίκτυο. Οι κανονικές διαδικασίες της ουράς αναμονής θα ακολουθηθούν.

Άλλες παράμετροι

TrunkReservationUsed	Yes/No
PriorityChUseIncomingHo	Yes/No
TrunkTable-ID	1 .. 64

10.5.1 Σενάριο εφαρμογής της μεθόδου

Idle TCHs	Traffic Type		
	A	B	...
1	10	101	
2	20	101	
3	30	101	Xij
4	40	101	
5	50	101	

Πίνακας 10-2: Πίνακας αποφάσεων

Για R έχουμε **randomValueLimit = 100**

Έστω, ότι έχουμε ένα BTS που έχει 20 κανάλια κίνησης. Έστω, ότι σε χρονικό διάστημα μιας ώρας η μέση προσφερόμενη κίνηση είναι 15 Erlang. Δηλαδή, σε αυτό το χρονικό διάστημα είναι κατειλημμένα 15 κανάλια. Έτσι, από τον πίνακα Erlang B, έχουμε, για προσφερόμενη κίνηση 15 Erlang, blocking probability 4,6 %. Όμως, αφού έχουμε μόνο 5 διαύλους ελεύθερους, ο 16^{ος} δεν θα ανατεθεί σε όλους τους χρήστες με την ίδια πιθανότητα. Επίσης, οι χρήστες A είναι 98 % του συνολικού αριθμού συνδρομητών. Έτσι, από τον πίνακα αποφάσεων έχουμε:

Πιθανότητα αποκλεισμού χρηστών A:

$$0,98 * 15 = 14,7 \text{ Erlang}$$

Πιθανότητα $R < X$ έτσι ώστε να έχουμε ανάθεση είναι $\frac{50}{101} = 0,495$

$$GOS = 1 - \frac{50}{101} \cdot (1 - GOS(14,7)) = 1 - 0,495 \cdot (1 - 0,041) = 52,5\%$$

Πιθανότητα αποκλεισμού χρηστών B:

$$0,02 * 15 = 0,3 \text{ Erlang}$$

Πιθανότητα $R < X$ έτσι ώστε να έχουμε ανάθεση είναι $\frac{101}{101} = 1$

$$GOS = 1 - \frac{101}{101} \cdot (1 - GOS(0,3)) = 1 - 1 \cdot (1 - 0,0) = 0\%$$

Έστω, ότι έχουμε ένα BTS που έχει 20 κανάλια κίνησης. Έστω, ότι σε χρονικό διάστημα μιας ώρας η μέση προσφερόμενη κίνηση είναι 19 Erlang. Δηλαδή, σε αυτό το χρονικό διάστημα είναι κατειλημμένα 19 κανάλια. Έτσι, από τον πίνακα Erlang B, έχουμε, για προσφερόμενη κίνηση 19 Erlang, blocking probability 13,4 %. Όμως, αφού υπάρχει μόνο 1 διάλος ελεύθερος, ο 20^{ος} δεν θα ανατεθεί σε όλους τους χρήστες με την ίδια πιθανότητα. Επίσης, οι χρήστες A είναι 98 % του συνολικού αριθμού συνδρομητών. Έτσι, από τον πίνακα αποφάσεων έχουμε:

Πιθανότητα αποκλεισμού χρηστών A:

$$0,98 * 19 = 18,62 \text{ Erlang}$$

Πιθανότητα $R < X$ έτσι ώστε να έχουμε ανάθεση είναι $\frac{10}{101} = 0,099$

$$GOS=1 - \frac{10}{101} \cdot (1 - GOS(18,62)) = 1 - 0,099 \cdot (1 - 0,124) = 91,3\%$$

Πιθανότητα αποκλεισμού χρηστών B:

$$0,02 * 19 = 0,38 \text{ Erlang}$$

Πιθανότητα $R < X$ έτσι ώστε να έχουμε ανάθεση είναι $\frac{101}{101} = 1$

$$GOS=1 - \frac{101}{101} \cdot (1 - GOS(0,38)) = 1 - 1 \cdot (1 - 0,0) = 100\%$$

10.6 Emergency situations

Μια άλλη εφαρμογή είναι η εξής:

Έστω, ότι κάποιος χρήστης βρίσκεται σε επείγουσα κατάσταση. Επίσης, το δίκτυο βρίσκεται σε πλήρη συμφόρηση. Τότε, ο χρήστης, αφού δεν έχει την δυνατότητα να πάρει τηλέφωνο, του δίνεται η δυνατότητα να στείλει ένα SMS σε ένα κέντρο εκτάκτων αναγκών, ότι χρειάζεται βοήθεια. Έπειτα, το κέντρο καλεί τον συνδρομητή και γίνεται η σχετική συνεννόηση. Το γραπτό μήνυμα μπορεί να σταλθεί χειροκίνητα ή και με SIM toolkit.

Ακολουθεί λεπτομερής περιγραφή της μεθόδου:

Θα υπάρχει ο εξής πίνακας, που θα εξασφαλίζει ότι κάτω από οποιαδήποτε κατάσταση συμφόρησης (που εδώ ορίζουμε ως καταστάσεις συμφόρησης καταστάσεις με blocking probability > 1%), θα έχουμε αποστολή του SMS:

Idle TCHs	Traffic Type		
	Χωρίς πάγιο	Με πάγιο	Emergency SMS (Emergency calls)
1	0	3	101
2	0	10	101
3	0	17	101
4	0	24	101
5	0	31	101
6	1	38	101
7	10	45	101
8	20	52	101
9	30	59	101
10	40	66	101
11	50	73	101
12	60	80	101
13	70	87	101
14	80	94	101
15	101	101	101

Πίνακας 10-3: Παράδειγμα πίνακα αποφάσεων

Έτσι, βλέπουμε από τον πίνακα, ότι τα Emergency SMS και calls δεν θα απορρίπτονται. Έπειτα, το κέντρο μπορεί να καλέσει τον χρήστη που έχει ανάγκη, προεκτοπίζοντας ή πραγματοποιώντας force handover, κάποιον άλλο που χρησιμοποιεί ένα TCH στο συγκεκριμένο cell και έχει χαμηλή προτεραιότητα.

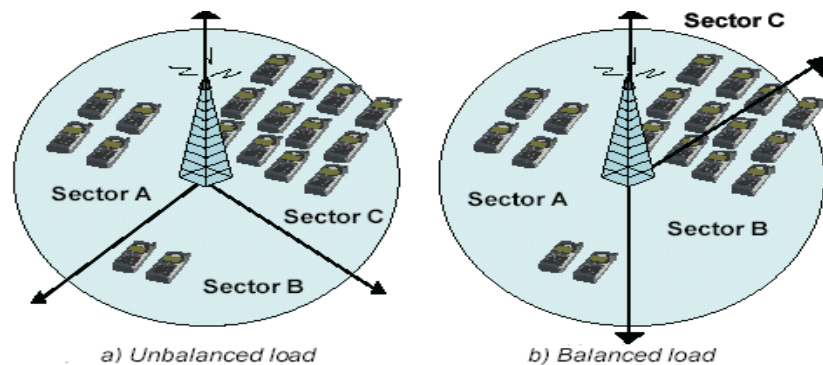
Κλάσεις με υψηλές προτεραιότητες μπορεί να εφαρμοστούν και για αστυνομία, ασθενοφόρα και άλλες ομάδες χρηστών που πρέπει να έχουν υψηλή προτεραιότητα σε emergency καταστάσεις.

11 Dynamic Cell resizing with C2 value

11.1 Εφαρμογή της μεθόδου δυναμικού reselection

Η παρακάτω μέθοδος επινοήθηκε και αναπτύχθηκε από τον Νικόλαο Χρ. Παπαουλάκη Ηλεκτρολόγο Μηχανικό Ε.Μ.Π. Τονίζεται ότι η δυναμική μεταβολή της παραμέτρου C2, για την αποσυμφόρηση κυψελωτών δικτύων δεν υπήρχε σε προηγούμενη βιβλιογραφία.

Η μέθοδος του δυναμικού reselection βασίζεται στο σκεπτικό της μεταβολής της περιοχής κυριαρχίας (dominance area) ενός σταθμού βάσης, σύμφωνα με το τηλεπικοινωνιακό του φορτίο. Όπως αναφέραμε και στην εισαγωγή ένα από τα βασικά προβλήματα των κινητών δικτύων επικοινωνιών είναι το γεγονός ότι σχεδόν ποτέ δεν μπορεί να επιτευχθεί ομοιόμορφη κατανομή της κίνησης στο πλήθος των σταθμών βάσης που το αποτελούν. Αυτό οφείλεται σε πολλούς παράγοντες που είναι πολύ δύσκολο να προβλεφθούν.



Σχήμα 11-1: Κατανομή χρηστών σε ένα δίκτυο

Το παραπάνω Σχήμα 11-1 δείχνει περιγραφικά ένα σταθμό βάσης με ανομοιόμορφη κατανομή χρηστών στους τρεις τομείς (sectors) κάλυψης. Με την εφαρμογή όμως της τεχνικής επιτυγχάνεται η εξισορρόπηση της κίνησης στο σταθμό βάσης.

Όπως είναι φυσικό η ανομοιόρφη κατανομή της προσφερόμενης κίνησης σ' ένα δίκτυο δημιουργεί τοπικά φαινόμενα συμφόρησης σε μεμονωμένους σταθμούς βάσης, ενώ υπάρχουν διαθέσιμοι τηλεπικοινωνιακοί πόροι στους γειτονικούς σταθμούς. Τα υπάρχοντα δίκτυα GSM έχουν ένα μηχανισμό που έχει ως σκοπό να αντιμετωπίζει τέτοιου είδους προβλήματα, όπως το Directed Retry, το οποίο όμως σχεδόν πάντα οδηγεί σε συμφόρηση των πόρων σηματοδότησης, ειδικά αν δεν έχει γίνει μέριμνα από το σχεδιαστή για επιπλέον κανάλια σηματοδότησης αλλά και βέλτιστη παραμετροποίηση της τεχνικής. Παρακάτω περιγράφεται περιληπτικά η λειτουργία του directed retry έτσι ώστε να γίνει κάποια σύγκριση με την προτεινόμενη τεχνική.

Έστω ότι έχουμε ένα MT το οποίο είναι κλειδωμένο σε μια κυψέλη όπου έχει υπερφορτωθεί. Τότε ο διαχειριστής δίνει κατάλληλες τιμές στην παράμετρο Cell reselect offset, που θα περιγραφεί παρακάτω, των γειτονικών κυψελών (εφόσον σ' αυτές το τηλεπικοινωνιακό φορτίο είναι κανονικό), έτσι ώστε το MT να κάνει reselection σ' αυτές, με αποτέλεσμα να μπορεί να εξυπηρετηθεί μια εισερχόμενη ή εξερχόμενη κλήση. Αυτό βέβαια απαιτεί ότι το MT βρίσκεται σε περιοχή όπου υπάρχει επαρκής αλληλοεπικάλυψη και από άλλα BTS, πράγμα που ισχύει σε αστικές περιοχές όπου και εμφανίζονται οι πιο πολλές περιπτώσεις congestion.

Το μόνο μειονέκτημα είναι ότι μπορεί να δημιουργήσει επιπλέον φορτίο σηματοδότησης, στην περίπτωση που MT παροτρυνθούν από το Cell reselect offset που θα θέσει ο operator να κάνουν reselection σε BTS που βρίσκονται σε άλλο LAC. Αυτό βέβαια μπορεί να αποτραπεί με

το να μην χρησιμοποιείται αυτή η παράμετρος σε BTS που γειτνιάζουν με BTS άλλης LAC, η με αύξηση της τιμής του CELL_RESELECT_HYSTERESIS, ταυτόχρονα με την αύξηση του C2.

Παρακάτω ακολουθεί αναλυτική περιγραφή της τεχνικής με της παραμέτρους και παραδείγματα, με χρήση ειδικού λογισμικού ραδιοκάλυψης του “Astrix”.

11.2 C1 (path loss-criterium)

(GSM Phase 1)

Αυτή η παράμετρος παίρνει τιμές από -99 έως 99 dBm και χρησιμοποιείται από το MT για να υπολογίσει το path loss της serving cell που χρησιμοποιεί και υπολογίζεται ως εξής:

$$C1 = (RX - RxLevAm - \text{MAX}(MSTxPwr - MSMaxPwr), 0)$$

όπου,

RX: Η ένταση του σήματος που λαμβάνει το MT από το FCCH (light house) σε dBm.

RxLevAm (**Rx Level Access minimum**): Το ελάχιστο επιτρεπτό σήμα για το οποίο το MT μπορεί να χρησιμοποιήσει το συγκεκριμένο BTS. Αυτή η τιμή καθορίζεται από τον operator και οι τιμές της ποικίλουν ανάλογα τον τύπο και τον ρόλο της κυψέλης. Για την Cosmote είναι πάντα -111 dBm. Για την Vodafone, για κανονικές κυψέλες (DCS 900-1800) είναι -105 dBm και για micro-cells -87 dBm. Για την TIM, για κανονικές κυψέλες DCS 1800 (900) είναι -102 (-111) dBm και για micro-cells -85 dBm.

(Τα παραπάνω στοιχεία προέρχονται από monitoring).

MSTxPwr: Η μέγιστη επιτρεπόμενη ισχύς που επιτρέπει το BTS στο MT να χρησιμοποιήσει για πρόσβαση στο RACH. Εννοείτε ότι αν η διαθέσιμη ισχύς του MT είναι μικρότερη από αυτήν την τιμή το MT εκπέμπει με την μέγιστη δυνατή. Για Cosmote αυτή η τιμή είναι 30 dBm ή 1 Watt.

MSMaxPwr: Η μέγιστη ισχύς εκπομπής του MT. Για φορητά DCS 1800 αυτή η τιμή είναι 30 dBm ή 1 Watt.

11.3 C2 (cell-reselection criterion)

(GSM Phase 2)

Αυτή η παράμετρος παίρνει τιμές από -99 έως 99 dBm και χρησιμοποιείται από το MT για να επιλέξει την κυψέλη που θα χρησιμοποιήσει και υπολογίζεται ως εξής:

$$C2 = C1 + \text{Cell reselect offset} - \text{Temporary offset} * H(\text{Penalty time} - T)$$

με $\text{penaltyTime} \neq 640$

$$C2 = C1 - \text{Cell reselect offset}$$

με $\text{penaltyTime} = 640$

όπου $H(x) = 1$ όταν $x \geq 0$ και $H(x) = 0$ όταν $x < 0$

Η παράμετρος $\text{Cell reselect offset} - \text{Temporary offset} * H(\text{Penalty time} - T)$ έχει επίδραση στους κινούμενους χρήστες, ενώ η παράμετρος $\text{Cell reselect offset}$ μόνο στους στατικούς χρήστες.

Η παράμετρος **cellReselectParamInd (Yes/No)** ενεργοποιεί την λειτουργία του reselection μέσω σύγκρισης του C2, ακόμα, αν η C2 παράμετρος στέλνεται στο MT (activates C2), τότε

η παράμετρος **cellBarQualifty (Yes/No)** η οποία υποδεικνύει αν το cell είναι barred, μπορεί να παρακαμφθεί.

Cell reselect offset: Χρησιμοποιείται συνήθως για micro-cells με τέτοιο offset ώστε να προτρέπει τα MT να κλειδώνουν στο συγκεκριμένο cell. Για τα micro-cells της TIM αυτή η τιμή είναι 24 dB. Δηλαδή, η χρήση αυτής της τιμής προτείνεται για αρχιτεκτονική micro-cell, π.χ. κάλυψη εσωτερικών χώρων και γενικά busy spot, και μπορεί να αλλάζει δυναμικά από τον operator, έτσι ώστε να κατανέμεται το τηλεπικοινωνιακό φορτίο και σ' άλλα BTS.

Οι τιμές που μπορεί να πάρει είναι 0 – 126 dB, 0 – 63 * 2 dB.

cellReselectOffset (0...126 dB)

Penalty time: Παίρνει τιμές από 20 – 640 seconds, 1 – 32 * 20 seconds.

Η συνάρτηση $H(x) = 0$ αν $x < 0$ ή $H(x) = 1$ αν $x \geq 0$. Για την τρέχουσα κυψέλη πάντα $H(x) = 0$. Και εκφράζει την χρονική καθυστέρηση πριν την τελευταία σύγκριση μεταξύ των δυο BTS.

penaltyTime (20...640s)

Temporary offset: Παίρνει τιμές από 0 – 70 dB , 0 – 7 * 10 dB και εκφράζει κατά πόσο μπορεί να έχει μειωθεί το λαμβανόμενο σήμα μέσα στο χρόνο που καθορίζει το Penalty time.

temporaryOffset (0...70 dB)

(Οι παραπάνω τιμές καθορίζονται από τον διαχειριστή του δικτύου)

Αν η παράμετρος C2 μιας γειτονικής, από τις 6 διαθέσιμες, είναι μεγαλύτερη από τις τρέχουσες για χρονικό διάστημα μεγαλύτερο από 5 sec, τότε το MT αλλάζει κυψέλη.

Προσοχή τα παραπάνω ισχύουν όσο το MT είναι σε idle state και παρακολουθεί το CCCH (paging channel PCH).

Τα παραπάνω δεν γίνονται όταν η νέα γειτονική κυψέλη ανήκει σε διαφορετικό LA.

Για να γίνει reselection του MT στην νέα αυτή κυψέλη θα πρέπει η

$C2 > C2 + \text{CELL_RESELECT_HYSTERESIS}$

Επίσης, αν το MT έχει κάνει reselection κατά την διάρκεια των 15 τελευταίων seconds, η τιμή C2 της νέας κυψέλης θα πρέπει να ήταν 5 dB μεγαλύτερη της παλιάς.

11.3.1 State Of The Art

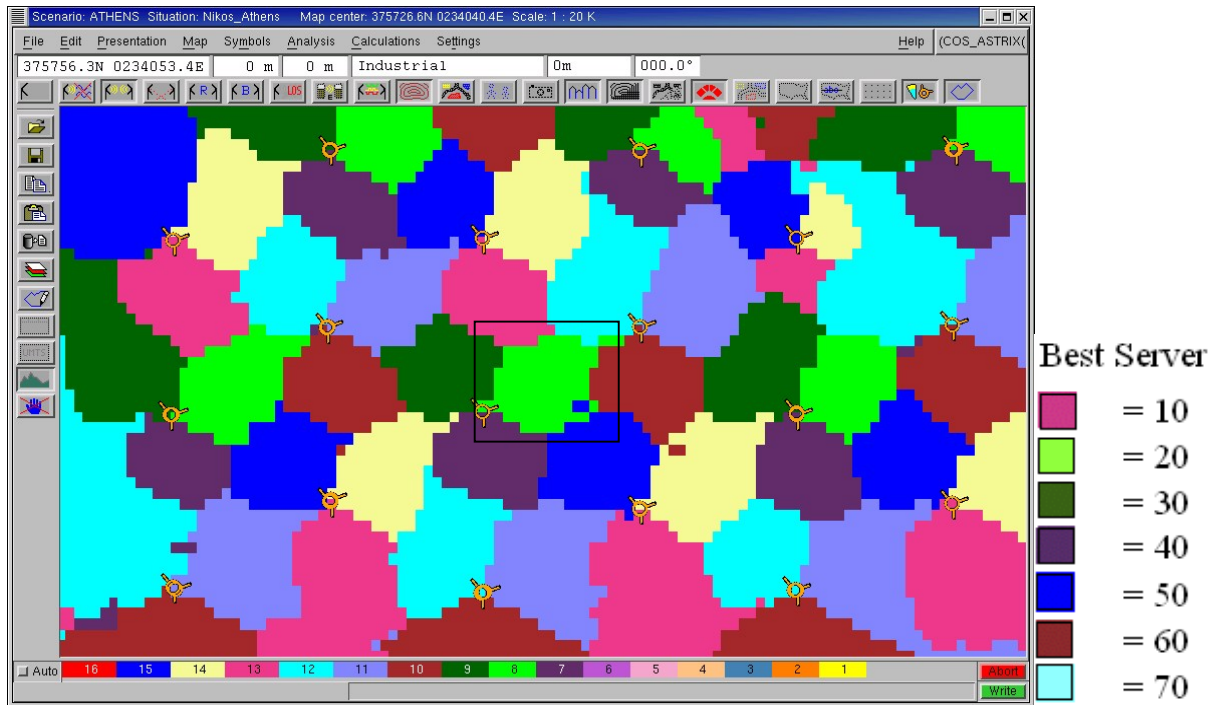
Όπως αναφέραμε και παραπάνω η TIM χρησιμοποιεί στα BTS 1800MHz Cell reselect offset 24 dB έτσι ώστε να αποφορτώνει το δίκτυο των 900MHz.

Επίσης, η Cosmote στα umbrella cells χρησιμοποιεί Cell reselect offset = 6 dB και Penalty time, έτσι ώστε $C2 = C1 - 6$ και η καλυπτόμενη επιφάνεια από αυτά να είναι η μισή από όταν $C2 = C1$ και να μην συμφορίζονται πολύ γρήγορα.

11.3.2 Εφαρμογή της μεθόδου και παραδείγματα

Έστω ότι έχουμε μια αστική περιοχή που καλύπτεται από ένα δίκτυο που χρησιμοποιεί σχήμα αναχρησιμοποίησης των συχνοτήτων 3/9. Δηλαδή 3 ομάδες BTS, με 3 sector ανά site, με διαφορετικές συχνότητες. Ένα τέτοιο σύστημα δίνει πολύ καλή απόδοση όσον αφορά την αναχρησιμοποίηση των συχνοτήτων, αφού με την βοήθεια των κατευθυντικών κεραιών που υπάρχουν ανά cell του BTS, έχουμε $C/I = 20$ dB Σχήμα 11-3. Αναφέρουμε ότι το GSM/DCS δουλεύει ικανοποιητικά μέχρι και $C/I = 9$ dB, ακόμα και για GPRS με CS-1.

Χρησιμοποιώντας το radio planning tool ASTRIX της Teleplan [30], μπορούμε να δούμε την κανονική ραδιοκάλυψη της αστικής περιοχής Σχήμα 11-2:

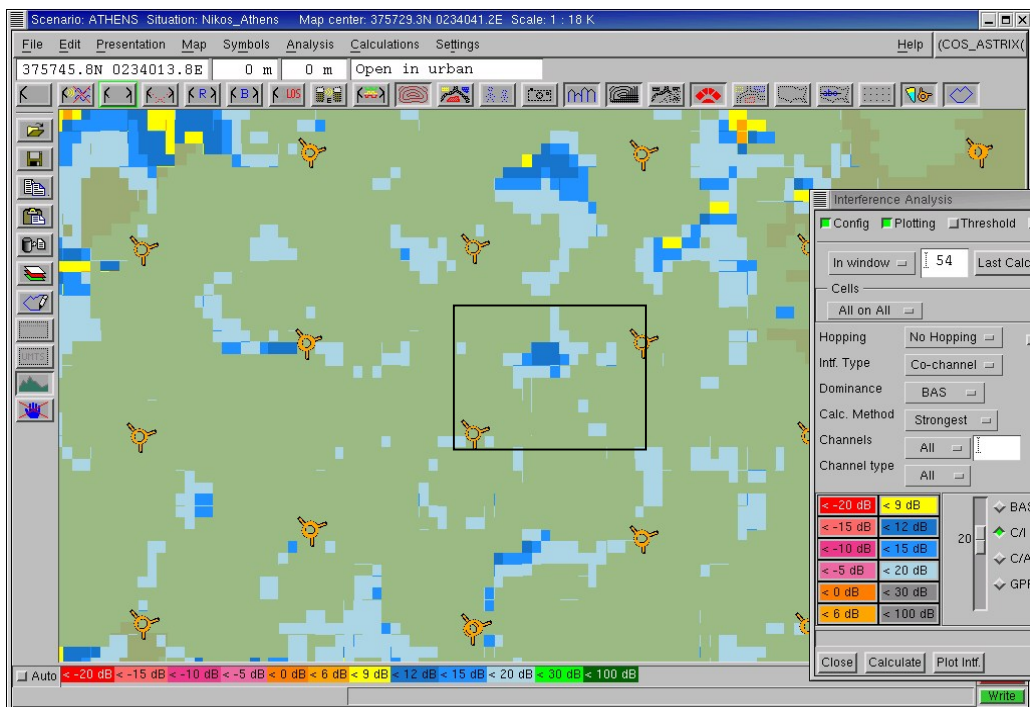


Σχήμα 11-2: Αρχική εικόνα dominant areas

Με τα διάφορα χρώματα φαίνεται η περιοχή στην οποία ένα MT θα είναι κλειδωμένο (serving cell), και θα παρακολουθεί τα C/CH του συγκεκριμένου Cell.

Επίσης ακολουθεί χάρτης που δείχνει το επίπεδο C/I ομοδιαλυτικών παρεμβολών.

Παρατηρούμε στο Σχήμα 11-3 ότι το C/I ελαττώνεται όσο βρισκόμαστε πιο μακριά από το σταθμό βάσης. Στα σημεία κοντά στα σύνορα γειτονικών σταθμών ενδέχεται να παρατηρησουμε μεγαλύτερη μείωση του C/I.



Σχήμα 11-3: Επίπεδα ομοδιαλυτικών παρεμβολών

Θεωρούμε ότι κάθε Cell έχει 2 TRXs. Επίσης, θεωρούμε ότι έχουμε 1 κανάλι (TS 0) στο Broadcast TRX για BCCH, AGCH, PCH, CBCH. Ακόμα το TS 1,2 του ίδιου TRX είναι για

σηματοδοσία SDCCH/8 καθώς και ένα άλλο SDCCH/8 από το δεύτερο TRX στο TS 0. Άρα το cell έχει 4 κανάλια ελέγχου, σηματοδοσίας και 12 κανάλια κίνησης TCHs. Έστω ότι έχουμε 735 χρήστες/Cell, που παράγουν κίνηση 8 mErl ο καθένας. Δηλαδή $735 * 0,008 = 5,88$ Erl που με την κατανομή Erlang B για 12 διαύλους μας δίνει πιθανότητα αποκλεισμού 1%. Έστω ότι στην περιοχή που καλύπτεται από το Cell 20 με πράσινο χρώμα (Σχήμα 11-2) έχουμε αυξημένη κίνηση, π.χ. έχουμε διπλασιασμό της προσφερόμενης κίνησης από τους χρήστες που οφείλεται είτε σε αύξηση του αριθμού των χρηστών, είτε σε αύξηση της τηλεπικοινωνιακής κίνησης των 735 χρηστών.

Άρα τα συνολικά παραγόμενα από τους χρήστες Erlang είναι 11,76 όπου δίνουν πιθανότητα αποκλεισμού 18,9 %, που σίγουρα δημιουργεί πολύ μεγάλη δυσaréσκεια στους συνδρομητές, αφού ένας μεγάλος αριθμός προσπαθειών για κλήσεις, θα απορριφθούν. Επίσης, η παραπάνω κατάσταση οδηγεί σε απώλεια εσόδων στην εταιρία, λόγω του πολύ κακού utilization των συνολικών πόρων.

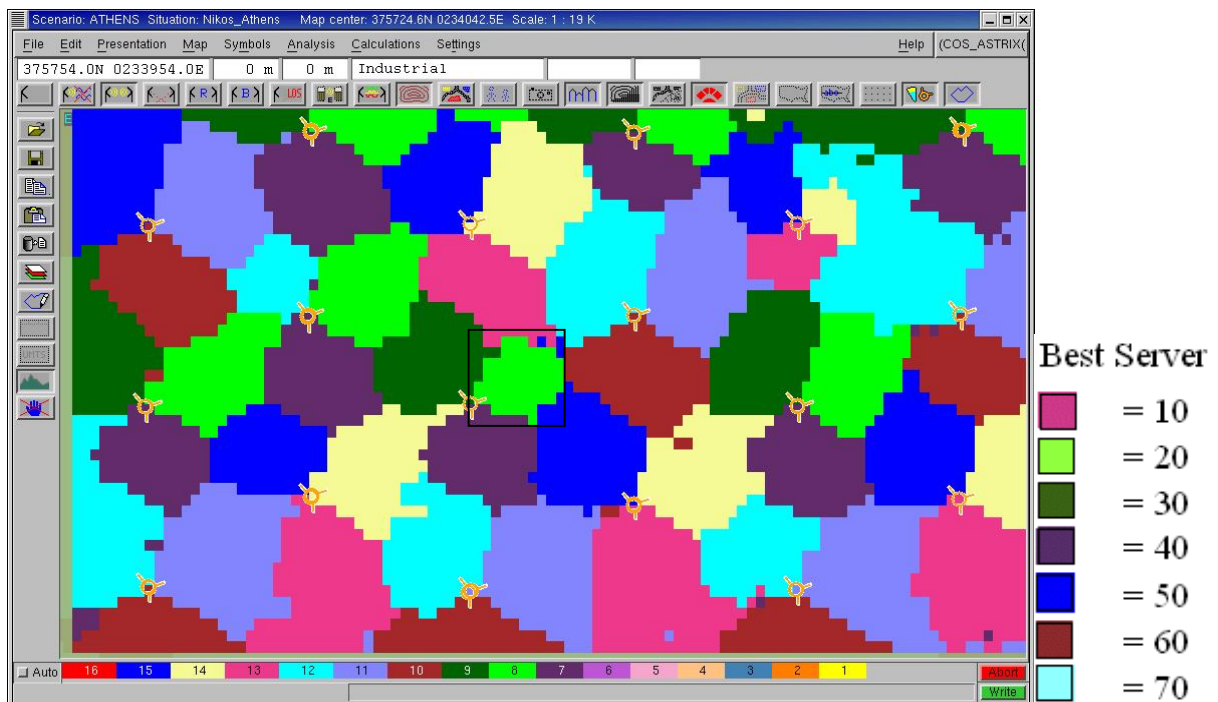
Σημείωση: Μια μέθοδος που εφαρμόζεται ήδη από τα δίκτυα, είναι το direct retry που περιγράφεται παρακάτω, που όμως αυτή η μέθοδος προϋποθέτει ότι στο congested Cell υπάρχουν διαθέσιμα SDCCH και ότι έχουμε συμφόρηση μόνο στα TCHs. Όμως και πάλι πολύ σύντομα η παραπάνω μέθοδος οδηγεί σε SDCCH congestion λόγω του μεγάλου χρόνου κατάληψης ενός SDCCH έως ότου το BSC βρει ελεύθερο TCH σε γειτονικό Cell. Ακόμα, σε περιπτώσεις εκτάκτων αναγκών (π.χ. σεισμών) όπου έχουμε ταυτόχρονη προσπάθεια πρόσβασης στο δίκτυο από πολλούς χρήστες έχουμε συμφόρηση μόνο στα SDCCHs ενώ έχουμε ελεύθερα TCHs, οπότε δεν δίνει λύση το direct retry.

Η μέθοδος του Dynamic Cell Resizing λύνει όλα τα παραπάνω προβλήματα. Όπως έχουμε περιγράψει παραπάνω για τα C2 Values και την χρησιμοποίησή τους έχουμε.

Θέτουμε στο congested Cell, Cell reselect offset = 6 dB και Penalty time 640 sec,

Έτσι ώστε $C2 = C1 - 6$ dB.

Δηλαδή με το που παρουσιάζεται το congestion σε οποιονδήποτε πόρο του συγκεκριμένου Cell έχουμε την εφαρμογή των παραπάνω τιμών, που οδηγεί στην παρακάτω τροποποιημένη ραδιοκάλυψη Σχήμα 11-4:



Σχήμα 11-4: Τροποποιημένη εικόνα dominant areas ($C2=C1 - 6$)

Αναφέρουμε ότι όταν η πιθανότητα αποκλεισμού είναι πάνω από 10% έχουμε Cell reselect offset = 6 dB και Penalty time 640 sec. Ενώ όταν η πιθανότητα αποκλεισμού είναι πάνω από 20% έχουμε Cell reselect offset =12 dB και Penalty time 640 sec με $C2 = C1 - 12$ dB. Αυτό το περιθώριο δίνεται έτσι ώστε να μην έχουμε domino effect με την εφαρμογή αυτής της μεθόδου. Δηλαδή εξαπλωθεί η αλλαγή των C2 values σ' όλο το δίκτυο.

Παρατηρούμε ότι η περιοχή που εξυπηρετούνταν από το συγκεκριμένο Cell με κανάλι 20 (Cell reselect offset = 6 dB και Penalty time 640 sec), είναι ίση με το 1/2 της αρχικής. Έτσι, τώρα τα κινητά που βρίσκονται εκτός της πράσινης περιοχής, θα μπορούν εξυπηρετηθούν από τα γειτονικά Cell. Δηλαδή γίνεται reselection σε idle mode μετά από 20 sec σε γειτονικές μη φορτωμένες κυψέλες. Τονίζουμε ότι δεν θα γίνουν διαπομπές των ήδη εξυπηρετούντων κλήσεων από το congested Cell, αφού το handover hysteresis έχει τεθεί πολύ πιο μεγάλο από το reselection hysteresis. Συγκεκριμένα, το handover hysteresis και το CELL_RESELECT_HYSTERESIS αυξάνονται κατά Cell reselection offset.

Έτσι, εκεί που το congested Cell είχε να εξυπηρετήσει 11,76 Erl με πιθανότητα αποκλεισμού 18,9 %, τώρα το resized Cell θα έχει να εξυπηρετήσει κίνηση $11,76 / 2 = 5,88$ Erl με πιθανότητα αποκλεισμού 1 %. Τώρα τα γειτονικά Cell δέχονται την επιπλέον κίνηση ανάλογα με την επιφάνεια που δίνουν. Συγκεκριμένα τα δυο γειτονικά Cell (κανάλια 10,50,60,70) που ανήκουν σε διαφορετικό BTS από το congested δίνουν επιπλέον 20% επιφάνειας, που αφαιρείται από την επιφάνεια του congested Cell. Τα άλλα δυο cell (κανάλια 30,40) που ανήκουν στο BTS του congested Cell δίνουν το καθένα 5 % επιφάνεια.

Δηλαδή η επιφάνεια που εξυπηρετεί το congested Cell είναι 50 % του αρχικού, αφού $100 - 2 * 20 - 2 * 5 = 50$.

Τώρα η πιθανότητα αποκλεισμού στα γειτονικά Cell είναι:
Θεωρούμε ότι έχουμε ομοιόμορφη χωρικά κίνηση χρηστών.

Cells (κανάλια 10,50,60,70): $5,9 + 0,2 * 11,76 = 8,3$ Erl με πιθανότητα αποκλεισμού 6 %.

Cells (κανάλια 30,40): $5,9 + 0,05 * 11,76 = 6,49$ Erl με πιθανότητα αποκλεισμού 1,8%.

Αφού στα Cell (κανάλια 50,40) έχουμε πιθανότητα αποκλεισμού 6 % δεν θα έχουμε επιπλέον αλλαγές.

Συνολικά έχουμε

Congested Cell: με πιθανότητα αποκλεισμού από 18,9% σε 1%.

Cells (κανάλια 10,50,60,70): με πιθανότητα αποκλεισμού από 1% σε 6%.

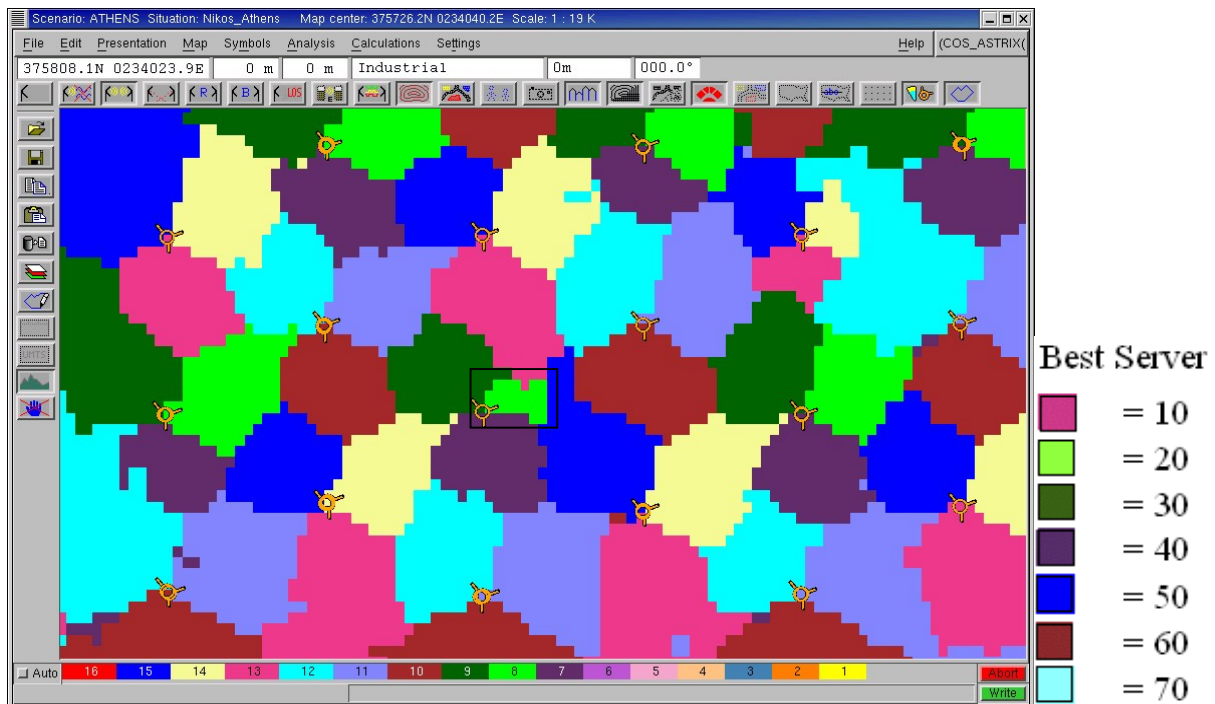
Cells (κανάλια 30,40): με πιθανότητα αποκλεισμού από 1% σε 1,8%.

Είναι προτιμότερο να έχουμε χαμηλή πιθανότητα αποκλεισμού στο πρώην congested Cell και υψηλότερη πιθανότητα αποκλεισμού στα γειτονικά, αφού στο congested Cell θα υπάρχει με μεγαλύτερη πιθανότητα επιπλέον προσφερόμενης κίνησης.

Το co-channel interference από $C/I = 17$ dB γίνεται $C/I = 12$ dB.

Έστω ότι έχουμε τριπλασιασμό των παραγόμενων Erlang από τους χρηστές στην υπό συζήτηση κυψέλη. Τότε έχουμε 17,64 Erl παραγόμενη κίνηση, που με 12 διαθέσιμους διαύλους κίνησης μας δίνουν πιθανότητα αποκλεισμού 39,1%, δηλαδή πολύ πάνω από 20%. Τότε, στο congested Cell θέτουμε, σύμφωνα με την αναπτυσσόμενη μέθοδο: Cell reselect offset =12 dB και Penalty time 640 sec και $C2 = C1 - 12$ dB.

Οπότε έχουμε την παρακάτω ραδιοκάλυψη Σχήμα 11-5:



Σχήμα 11-5: Τροποποιημένη εικόνα dominant areas ($C2=C1 - 12$)

Δηλαδή η congested Cell τώρα θα εξυπηρετεί το $\frac{1}{4}$ της αρχικής επιφάνειας.

Έχουμε αναλυτικά:

Congested Cell: με πιθανότητα αποκλεισμού από 39,1 % σε 1%.

Cells (κανάλια 10,50,60,70): $5,9 + 0,3 * 17,64 = 11,2$ Erl με πιθανότητα αποκλεισμού 16,7%.

Cells (κανάλια 30,40): $5,9 + 0,075 * 17,64 = 7,2$ Erl με πιθανότητα αποκλεισμού 3,1%.

Παρατηρούμε ότι οι κυψέλες με κανάλια 50,40 έχουν αυξημένη πιθανότητα αποκλεισμού και συγκεκριμένα πιο πάνω από το 10 % που θέσαμε ως πρώτο κατώφλι για την ενεργοποίηση των C2 values.

Έτσι, έχουμε τις τιμές Cell reselect offset = 6 dB και Penalty time 640 sec. στα **Cells (κανάλια 10,50,60,70)** και Cell reselect offset = 12 + 6 = 18 dB και Penalty time 640 sec στο αρχικό congested Cell.

Η επιφάνεια που καλύπτει το congested τώρα είναι:

$$100 - 2 * 30 - 2 * 8,4 = 23,2\% \text{ της αρχικής επιφάνειας.}$$

Άρα θα εξυπηρετεί $0,232 * 17,64 = 4,093$ Erl που δίνουν πιθανότητα αποκλεισμού 0,1 %.

Για τα άλλα Cell έχουμε:

Cells (κανάλια 10,50,60,70): $5,9 + 0,3 * 17,64 - 0,2 * (5,9 + 0,3 * 17,64 - 0,2) - 2 * 0,05 * (5,9 + 0,3 * 17,64 - 0,2) = 7,84$ Erl με πιθανότητα αποκλεισμού 4,7%.

Cells (κανάλια 30,40): $5,9 + 0,2 * (5,9 + 0,3 * 17,64 - 0,2) + 0,084 * 17,64 = 9,6$ Erl με πιθανότητα αποκλεισμού 10,5%.

Cells (κανάλια 20): $5,9 + 0,05 * (5,9 + 0,3 * 17,64 - 0,2) = 6,46$ Erl με πιθανότητα αποκλεισμού 1,8%.

Οπότε, όπως βλέπουμε σταματά η επιπλέον διάδοση αλλαγών στα C values και σε άλλα γειτονικά Cell.

Συνολικά έχουμε:

Congested Cell: με πιθανότητα αποκλεισμού από 39,1% σε 0,1%.

Cells (κανάλια 10,50,60,70): με πιθανότητα αποκλεισμού από 1% σε 16,7% και τέλος 4,7%

Cells (κανάλια 30,40): με πιθανότητα αποκλεισμού από 1% σε 3,1% και τέλος 10,5%.

Θα μπορούσαμε να ακολουθήσουμε όμως ένα άλλο τρόπο χρήσης των C Values έτσι ώστε να έχουμε ισοκατανομή της κίνησης σε όλα τα Cell, και συγκεκριμένα στο congested Cell και τα Cell που ανήκουν σε άλλο BTS, τα οποία επιβαρύνονται ιδιαίτερα. Γνωρίζουμε τον τύπο που συνδέει το λόγο μείωσης του εμβαδού ενός Cell με το Cell reselect offset σε dB. Συγκεκριμένα, έχουμε ότι για Cell reselect offset A dB η αρχική επιφάνεια κάλυψης του Cell διαίρεται

με $B=10^{\frac{A}{20}}$. Άρα για A = 6 dB έχουμε B = 2, δηλαδή την μισή επιφάνεια και για A = 12 dB έχουμε B = 4.

Έτσι, μπορούμε να υπολογίσουμε την τιμή του Cell reselect offset έτσι ώστε να έχουμε στο congested Cell και στα Cell αλλού BTS την ίδια προσφερόμενη κίνηση.

Υποθέτουμε πάντα ότι έχουμε ομοιόμορφη χωρική κατανομή των χρηστών.

$b = \frac{a-1}{14a}$, $A = 20 \cdot \log\left(\frac{1}{1-10b}\right)$, όπου a ο συντελεστής που δείχνει πόσες φορές έχει αυξηθεί

η προσφερόμενη κίνηση στο congested Cell από την προσφερόμενη κίνηση που δίνει πιθανότητα αποκλεισμού 1%, και A είναι το Cell reselect offset για να επιτευχθεί το παραπάνω. Τονίζουμε ότι θεωρούμε ότι έχουμε ομοιόμορφη κατανομή Erl/Km². Ακόμα θα μπορούσαν να δίνονται τιμές στο Cell reselect offset με βάση τους παραπάνω τύπους από ένα σύστημα με feedBack κλειστού βρόχου, έτσι ώστε το Blocking Probability είναι συνεχώς στο 1% και να έχουμε το βέλτιστο utilization.

Έτσι, αν ακολουθήσουν τα παραπάνω παραδείγματα έχουμε:

Όταν $\alpha = 2$ τότε θα πρέπει το Cell reselect offset = 3,8 dB και Penalty time 640 sec.

Έχουμε:

Congested Cell: με πιθανότητα αποκλεισμού από 18,9% σε 3,9%.

Cells (κανάλια 10,50,60,70): με πιθανότητα αποκλεισμού από 1% σε 3,9%.

Cells (κανάλια 30,40): με πιθανότητα αποκλεισμού από 1% σε 2,1%.

Όταν $\alpha = 3$ τότε θα πρέπει το Cell reselect offset = 5,6 dB και Penalty time 640 sec.

Έχουμε:

Congested Cell: με πιθανότητα αποκλεισμού από 39,1% σε 9,2%.

Cells (κανάλια 10,50,60,70): με πιθανότητα αποκλεισμού από 1% σε 9,2%.

Cells (κανάλια 30,40): με πιθανότητα αποκλεισμού από 1% σε 2,2%.

Τα παραπάνω παραδείγματα ραδιοκάλυψης έχουν γίνει με το πρόγραμμα ASTRIX που χρησιμοποιεί το τροποποιημένο Okumura-Hata μοντέλο ραδιοκάλυψης, το οποίο προσεγγιστικά αντιστοιχεί σε διάδοση ανάλογη της τετάρτης δύναμης.

Το παραπάνω σύστημα δουλεύει με σχήμα αναχρησιμοποίησης 3 BTS και 9 κυψέλες.

Η απόσταση μεταξύ ομοδιαδικών BTS είναι 1340 μέτρα και η ακτίνα κάθε κυψέλης 445 μέτρα. Το C/I είναι 16 dB.

Τυπολόγιο:

$$\frac{D}{R} = \sqrt{3 \cdot K}, \quad \frac{S}{I} = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{D}{R}\right)^4, \quad \frac{S_{odB}}{S_{AdB}} = 10^{\frac{A}{20}}$$

Για **A = 6 dB** έχουμε:

$\frac{S_{odB}}{S_{Adb}} = 10^{\frac{A}{20}} = 2$ όπου 0,2 της αρχικής επιφάνειας καλύπτεται από τα 2 γειτονικά Cell ενώ το 0,05 της αρχικής επιφάνειας από τα 2 Cell του ίδιου BTS.

C/I = 14 dB

Για **A = 12 dB** έχουμε:

$\frac{S_{odB}}{S_{Adb}} = 10^{\frac{A}{20}} = 4$ όπου 0,3 της αρχικής επιφάνειας καλύπτεται από τα 2 γειτονικά Cell ενώ το 0,075 της αρχικής επιφάνειας από τα 2 Cell του ίδιου BTS.

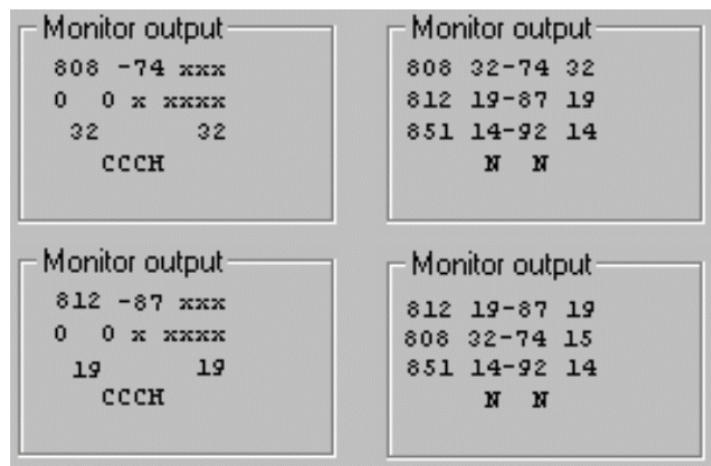
C/I = 12 dB

Field measurement

Η παρακάτω εικόνα δείχνει τον τρόπο που λειτουργεί η μέθοδος και πως υλοποιείται στο MT. Βλέπουμε ότι έχουμε

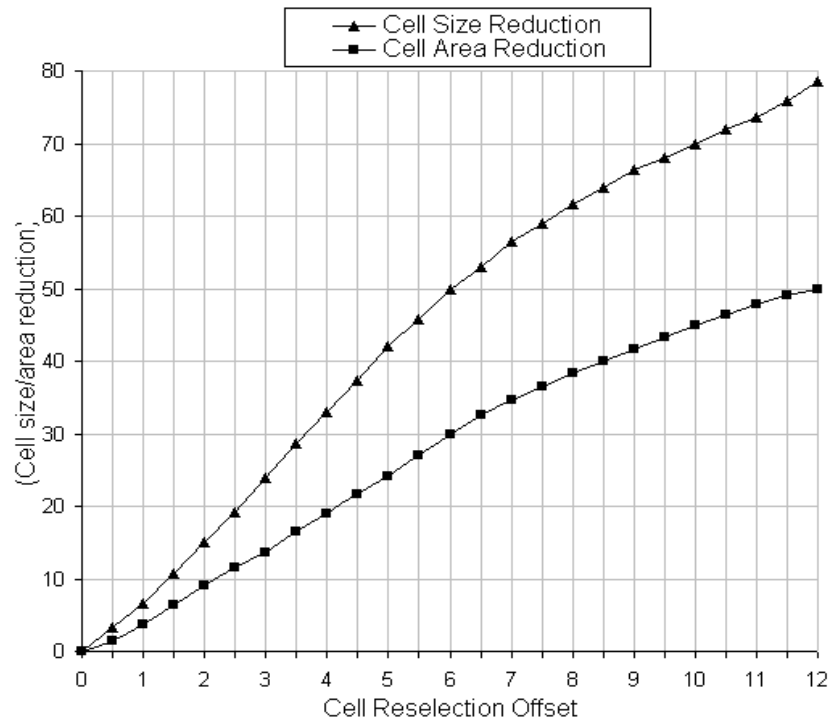
- **Serving Cell BCCH TRX Ch (808)**
- **received signal level RX (-74 dBm)**
- **C1 value 32**
- **C2 value 32**

Έστω ότι το cell με BCCH κανάλι 808 είναι υπό συμφόρηση. Τότε ο διαχειριστής του δικτύου, μπορεί θέτοντας τις παρακάτω τιμές να επιτύχει το MT να κάνει reselection στο BTS με BCCH κανάλι 812 το οποίο έχει ελεύθερους πόρους. Οι τιμές είναι:
cellReselectOffset=17 dB and penaltyTime = 640 sec.



Σχήμα 11-6: Net monitor and C2

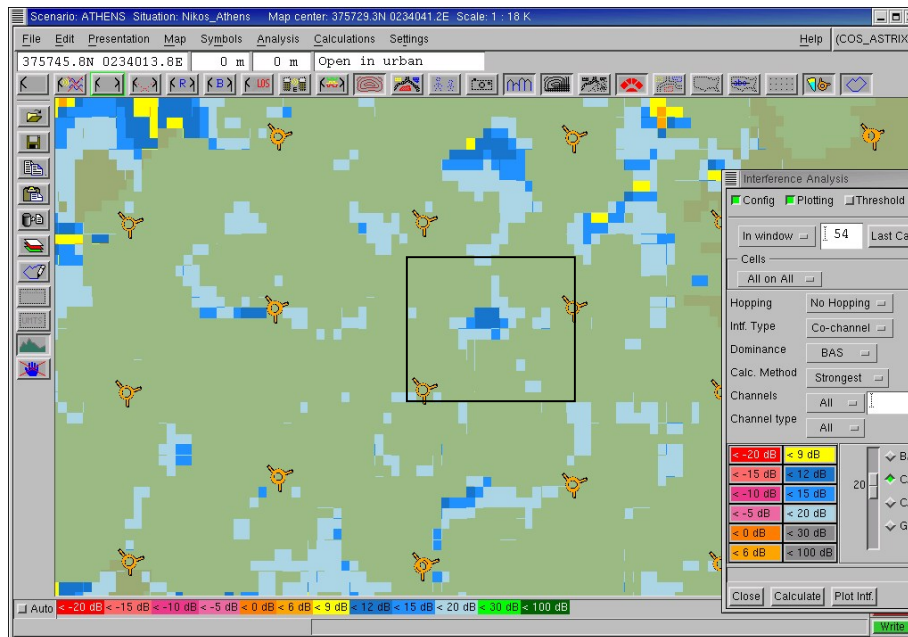
Στο παρακάτω Διάγραμμα 2 μπορούμε να δούμε την σχετική μεταβολή του εμβαδού περιοχής κάλυψης και της ακτίνας εμβέλεια κυριαρχίας της κυψέλης σε συνάρτηση με την μεταβολή των cell reselection offsets.



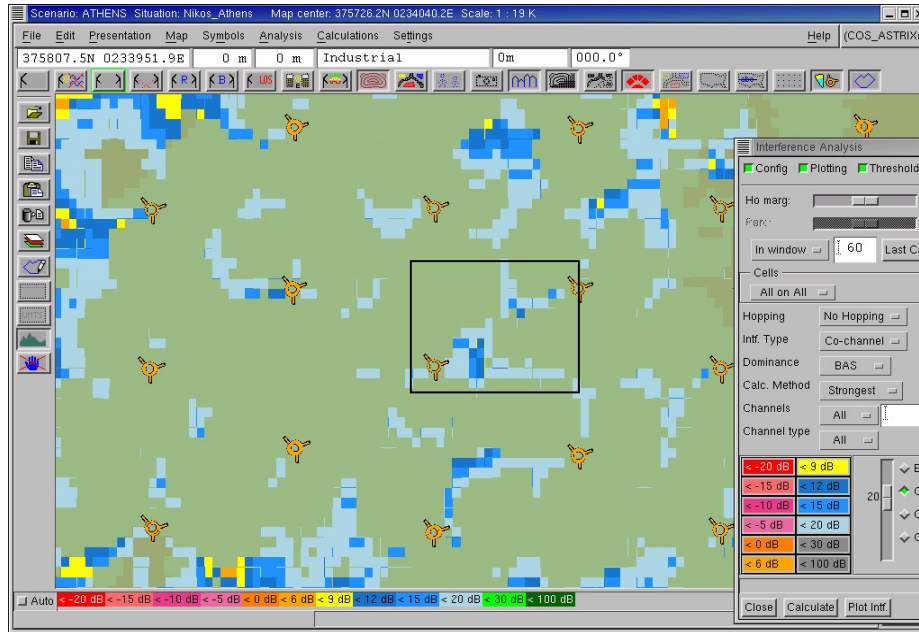
Διάγραμμα 11-1: Cell Reselection Offset and Cell size reduction

Επιπτώσεις :

Παρατηρούμε από τον χάρτη ομοδιαυλικών παρεμβολών ότι η εφαρμογή της τεχνικής προκαλεί μια μείωση της C/I. Χαρακτηριστικά μπορούμε να δούμε ότι η εφαρμογή της τεχνικής με **cellReselectOffset = 12 dB penaltyTime = 640 sec** ελαττώνει το C/I κατά 5 dB κατά μέσο όρο. Δηλαδή από 17 dB σε 12 dB. Φυσικά κάτι τέτοιο δεν δημιουργεί προβλήματα στην λειτουργία του δικτύου ούτε στην ποιότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών. Εκεί που ενδέχεται να έχουμε μια μικρή πτώση της ποιότητας είναι στις υπηρεσίες GPRS. Επίσης παρατηρούμαι ότι το σημείο μέγιστης τιμής του C/I με την εφαρμογή της τεχνικής πλησιάζει πιο κοντά στο σταθμό στον οποίο έγινε η δυναμική αλλαγή του C2.



Σχήμα 11-7: C/I με C2=C1 - 6dB



Σχήμα 11-8: C/I με $C2=C1 - 12\text{dB}$

11.3.3 Εφαρμογή της μεθόδου για την αποσυμφόρηση των umbrella cells

Όπως είναι γνωστό τα umbrella cell χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο για να καλύπτουν κενά στην ραδιοκάλυψη μιας περιοχής. Η εμβέλεια τους μπορεί να είναι έως και 35 Km αφού τοποθετούνται σε λόφους και βουνά με μεγάλο ύψος. Επίσης η ανάγκη κάλυψης αυτών των κενών κάνει επιτακτική την ανάγκη τα umbrella cells να εκπέμπουν με μεγάλη ισχύ. Αυτό όμως δημιουργεί προβλήματα αφού σε περιοχές αν και υπάρχει κάλυψη από τοπικά cells, το σήμα της umbrella cell είναι ισχυρότερο, έτσι ώστε τα MT να έχουν ως serving cell την umbrella. Έτσι πολύ γρήγορα έχουμε συμφόρηση σ' αυτό το cell με αποτέλεσμα να έχουμε πολύ κακό utilization του δικτύου. Μια λύση είναι να ελαττωθεί η ισχύς του umbrella cell ή να αυξηθεί το tilt των κεραιών, αφαιρώντας όμως το πλεονέκτημα και το κύριο σκοπό του umbrella cell την μεγάλη εμβέλεια και την κάλυψη κενών. Έτσι, δεν θα καλύπτονται τα κενά της ραδιοκάλυψης.

Η μέθοδος όμως των C2 Value δίνει αποτελεσματική λύση στο πρόβλημα αυτό, δίνοντας κατάλληλο Cell reselect offset με το Penalty time = 640 sec, αφού τότε:

$$C2 = C1 - \text{Cell reselect offset}$$

έτσι ώστε σε περιοχές που υπάρχουν τοπικά cells να επιλέγονται αυτά, αν και το σήμα τους είναι χαμηλότερο από αυτό της umbrella. Η Cosmote έχει ήδη εφαρμόσει στα umbrella cells της (RRSAGELEOB, RRSPENTELI) Cell reselect offset = 6dB και Penalty time 640 sec,

Έτσι, σε περιοχές που δεν υπάρχει κάλυψη από κανονικά cell θα είναι serving cell η umbrella. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η umbrella cell να εξυπηρετεί τα κενά και όχι άλλες περιοχές, καθιστώντας την απόλυτα λειτουργική, κάτι που δεν γινόταν προηγουμένως που δημιουργούσαν προβλήματα αφού συμφορίζονταν πολύ γρήγορα ιδίως στα TCHs. Βέβαια, με το direct retry δινόταν λύση, όμως με μεγάλο χρόνο αποκατάστασης κλήσης επιφορτίζοντας έτσι τον χρόνο κατάληψης σε SDCCHs δημιουργώντας συμφόρηση και σ' αυτόν τον δικτυακό πόρο. Επίσης, η διαδικασία του direct retry επιφορτίζει τα ήδη φορτωμένα Abis interfaces, έως σημείου συμφόρησης.

11.3.4 Εφαρμογή της μεθόδου σε αρχιτεκτονική micro – macro

Για αρκετούς λόγους τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας υιοθετούν την αρχιτεκτονική των normal-cell, έτσι ώστε να καλύπτονται επαρκώς από κίνηση, σημεία με πολύ αυξημένη κίνηση (busy spots) και να γίνεται αποδοτική αναχρησιμοποίηση του ραδιοφάσματος. Επίσης, με τα macro-cell μπορεί να εξυπηρετηθούν κλήσεις που γίνονται από αυτοκίνητα που κινούνται με αυξημένη ταχύτητα, δίνοντας έτσι πολύ μικρότερο αριθμό διαπομπών, που συνεπάγεται καλύτερη λειτουργία του δικτύου και των παρεχόμενων υπηρεσιών, αφού μειώνεται η πιθανότητα διακοπής της συνομιλίας από μια μη επιτυχημένη διαπομπή. Τα C2 values μας δίνουν την δυνατότητα τα MT να επιλέγουν σε idle mode πάντα το κατάλληλο cell. Ακολουθεί, ένα παράδειγμα όπου γίνεται κατανοητό πως λειτουργούν τα C2 στην προκειμένη περίπτωση.

Έστω, ότι έχουμε έναν κεντρικό δρόμο π.χ. Κηφισίας, όπου τα αυτοκίνητα κινούνται κατά κανόνα και σε ώρες χαμηλής κυκλοφοριακής κίνησης με μεγάλες ταχύτητες π.χ. 80 km/h ή 22,2 m/s, άρα σ' ένα τηλεφώνημα που διαρκεί 60 sec. θα έχει διανύσει απόσταση 1332 m. Αυτός ο δρόμος έχει κατά μήκος του αρκετά σημεία που καλύπτονται από normal-cell με εμβέλεια 200-400 μέτρων. Δηλαδή, κατά την διάρκεια ενός τηλεφωνήματος, θα είχαμε τουλάχιστον 4 διαπομπές. Αν τώρα ταυτόχρονα με τα cell, που μπορεί να έχουν και ακόμη μικρότερη εμβέλεια, λειτουργούσε ένα macro-cell που θα μπορούσε να καλύψει απόσταση 2 km, τότε αν το MT είχε ως serving cell το macro-cell δεν θα είχαμε καθόλου διαπομπές, κάτι που είναι απόλυτα επιθυμητό αφού οι διαπομπές επιβαρύνουν σημαντικά το δίκτυο, καθώς επίσης μειώνουν και την ποιότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών. Πώς όμως επιτυγχάνουμε να έχουμε συνεχώς serving cell το macro cell σ' ένα MT που κινείται κατά μήκος του δρόμου, όπου υπάρχουν και micro-cell με πολύ ισχυρότερο σήμα τοπικά, απ' ότι τα macro-cell; Η απάντηση είναι η εξής: Η χρονική διάρκεια που ένα MT, που κινείται με 80 km/h θα έχει ως serving cell τα normal-cell με εμβέλεια 200-300 m είναι 20 sec. περίπου. Δηλαδή, για 20 sec. το σήμα από το normal-cell θα είναι πιο ισχυρό απ' ότι του macro-cell. Τώρα στο normal-cell που είναι και πιο κοντά στο macro-cell θέτουμε τις τιμές:

temporaryOffset = 30dB

cellReselectOffset = 10dB

penaltyTime = 20 seconds

Έστω ότι στο κέντρο όπου καλύπτει το normal-cell το C1 = 46 και του macro-cell C1 = 36. Χωρίς τα C2 ενεργοποιημένα το MT θα είχε ως serving cell το normal-cell για 20 sec. και οποιαδήποτε εισερχόμενη ή εξερχόμενη κλήση μέσα σ' αυτά τα 20 sec. θα εξυπηρετούνταν από το normal-cell και θα είχαμε μεγάλο αριθμό διαπομπών, εάν η κλήση διαρκούσε πάνω από 20 sec. Με την εφαρμογή των παραπάνω τιμών στο normal-cell έχουμε:

Από 0 έως 19 sec. από την στιγμή που λαμβάνει το normal-cell:

Άρα για το normal-cell έχουμε:

$$C2 = C1 + \text{cellReselectOffset} - \text{temporaryOffset} * H(\text{penaltyTime} - T)$$

$$C2 = 46 + 10 - 30 * 1$$

$$C2 = 26$$

Δηλαδή για το χρονικό διάστημα από 0 έως και 19 sec. το MT θα είναι κλειδωμένο στο macro-cell αφού το C2 θα είναι κατά 10 dB μεγαλύτερο.

Από 20 και μετά από την στιγμή που λαμβάνει το normal-cell:

Έστω ότι το MT δεν συνεχίζει τον δρόμο και σταματάει μετά από 20 sec. Το MT θα έχει ως serving cell το normal-cell χωρίς να είναι κλειδωμένο χωρίς λόγο στο macro-cell.

$$C2 = C1 + \text{cellReselectOffset}$$

$$C2 = 32 + 10$$

$$C2 = 42$$

Για το επόμενο normal-cell θα έχουμε

temporaryOffset = 30dB

cellReselectOffset = 5dB

penaltyTime = 20 seconds.

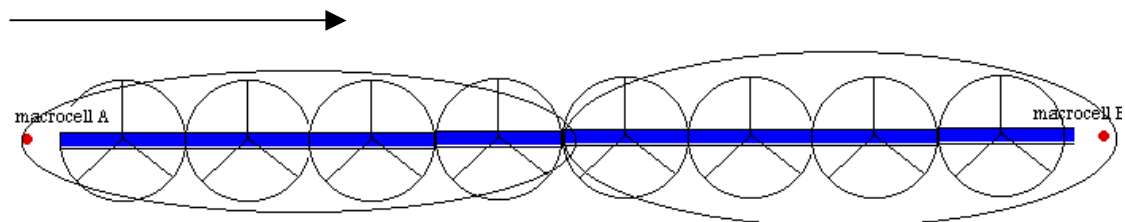
αφού πάλι στο κέντρο του normal-cell θα έχουμε $C1 = 46$ και του macro-cell $C1 = 31$.

Δηλαδή έχουμε καταφέρει τα περαστικά MT να μην κλειδώνουν στα normal-cell και μένουν στο macro-cell δημιουργώντας έτσι λιγότερες διαπομπές.

Στο παρακάτω Σχήμα 11-9 φαίνεται η εφαρμογή της μεθόδου.

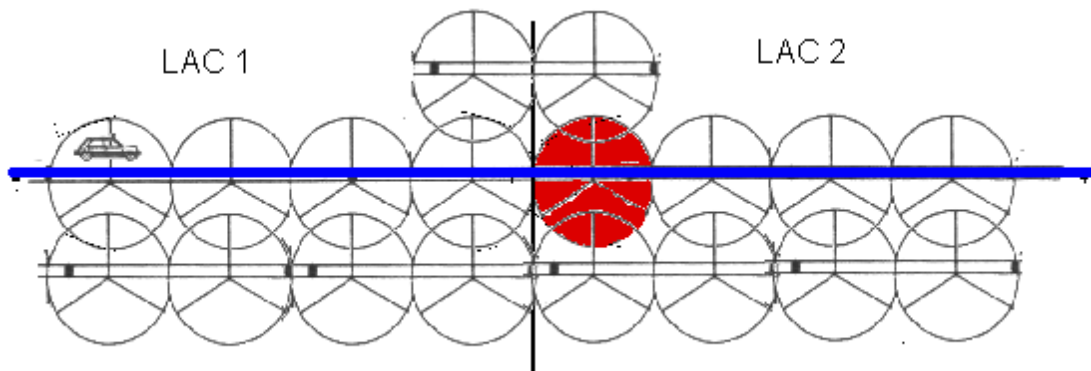
Φαίνονται τα macro-cell που υπερκαλύπτουν 8 cell. Δηλαδή, αν ένα MT ξεκίναγε την συνομιλία στο σημείο A και τελείωνε στο σημείο B, θα είχαμε 8 handover σε σχέση με δυο handover εφαρμόζοντας την παραπάνω μέθοδο.

Σημειώνουμε ότι οι τιμές των διαφόρων παραμέτρων εξαρτώνται από τις συνθήκες διάδοσης στην συγκεκριμένη περιοχή, την ταχύτητα των MT και από το ReselectionHysteresis που έχει θέσει ο operator του δικτύου.



Σχήμα 11-9: Δίκτυο με micro και macro cells

11.3.5 Παράδειγμα με congested cell σε σύνορο δυο LA



Σχήμα 11-10: Congested cell σε σύνορο δυο LA

Έστω ότι έχουμε τον δρόμο (μπλε γραμμή) ο οποίος κόβεται κάθετα από τις LAC 1 και LAC 2. Έστω ότι το κόκκινο cell είναι congested. Δηλαδή τα MT που θα επιχειρήσουν να κάνουν LU θα έχουν υψηλό ποσοστό LU failure.

Έστω ότι τα cell έχουν διάμετρο 1 km και ότι η μέση ταχύτητα των αυτοκινήτων σε αυτό τον δρόμο είναι 60 km/h. Δηλαδή ένα MT χρειάζεται 20 sec. Για να διανύσει το congested cell. Εμείς θέλουμε να επιτύχουμε διέλευση του MT χωρίς το LU να γίνει σε αυτό αλλά και γενικά το MT να μην κλειδώσει καθόλου σε αυτό το cell. Αυτό επιτυγχάνεται με τις παρακάτω παραμέτρους:

$$C2 = C1 + \text{cellReselectOffset} - \text{temporaryOffset} * H(\text{penaltyTime} - T)$$

TemporaryOffset = 12 dB

PenaltyTime = 20 sec.

CellReselectOffset = -6 dB

Με τις παραπάνω ρυθμίσεις ένα MT που κινείται με ταχύτητα 60 km/h δεν θα κάνει reselection στο congested cell διότι για τα 20 sec. που χρειάζεται για να διανύσει το congested cell έχουμε $C2 = C1 - 6 - 12 = C1 - 18\text{dB}$. Έτσι, το LU θα γίνει στις γειτονικές κυψέλες. Το **CellReselectOffset** = -6 dB επιδρά στους στάσιμους χρηστές, δηλαδή χρηστές όπου μένουν στο cell πάνω από 20 sec. και ισχύει γι' αυτούς

$$C2 = C1 - 6 - 12 * 0 = C1 - 6 \text{ dB.}$$

Έτσι μειώνεται η επιφάνεια κάλυψης του congested cell κατά το ήμισυ περίπου. Τονίζεται ότι θα πρέπει να υπάρξει ειδική μέριμνα για το Reselection Hysteresis έτσι ώστε να μην γίνουν άσκοπα Location Update στο LAC 1. Άρα θα πρέπει το Reselection Hysteresis να είναι μεγαλύτερο από 6 dB (default value 4 dB). Συγκεκριμένα:

$$\text{Reselection Hysteresis} + \text{CellReselectOffset} = 4 + 6 = 10 \text{ dB.}$$

Επίσης, το εφαρμοζόμενο PenaltyTime θα μπορεί να μεταβάλλεται ανάλογα με την στιγμή όπου παρατηρείται ένα τέτοιο συμβάν. Π.χ. σε ώρες αιχμής όπου τα κινούμενα MT έχουν μικρή ταχύτητα θα έχουμε πολύ μεγαλύτερο PenaltyTime σε σχέση με ώρα μη αιχμής.

11.3.6 Χρήση των C2 Values στα pico-cells

Όσο πιο αυξημένη είναι η κίνηση σ' ένα cell τόσο πιο μικρή είναι η εμβέλεια του. Έτσι, σε χώρους με πολύ μεγάλη τηλεπικοινωνιακή κίνηση χρησιμοποιούνται pico-cells με εμβέλεια λίγες δεκάδες μέτρα. Κατά κύριο λόγο τα pico-cells χρησιμοποιούνται για κάλυψη εσωτερικών χώρων, όπως μεγάλα κτίρια, ξενοδοχεία, νοσοκομεία κ.α. Όμως για να είναι σίγουρο ότι ένα MT θα είναι κλειδωμένο στο pico-cell που εξυπηρετεί τον κλειστό χώρο και ότι το MT δεν θα κάνει reselect ένα άλλο κανονικό cell όταν π.χ. βρεθεί κοντά σε ένα παράθυρο όπου το κανονικό cell θα έχει ισχυρότερο σήμα από το pico-cell, χρησιμοποιούμε τα C2 Values. Έτσι, στο pico-cell θέτουμε $\text{cellReselectOffset} = 30\text{-}50 \text{ dB}$, έτσι ώστε το MT να προτιμά συνεχώς όταν βρίσκεται στον εσωτερικό χώρο το pico-cell. Πάντως γενικώς τα pico-cells έχουν πολύ διαφορετικές ρυθμίσεις από ότι ένα κανονικό cell σε πολλές παραμέτρους.

Τα βασικότερα πλεονεκτήματα των pico-cells είναι ότι επιτρέπουν την πυκνή αναχρησιμοποίηση των συχνοτήτων μ' αποτέλεσμα μια πολύ καλή φασματική απόδοση, πολύ καλή ποιότητα υπηρεσιών σε σύγκριση με τα κανονικά cell, αφού προσφέρουν ισχυρό και χαμηλού C/I σήμα, που είναι ιδανικό για υπηρεσίες που η απόδοση τους εξαρτάται από το C/I και το RX level, όπως το GPRS και μελλοντικά το EDGE. Επίσης, όταν ένα MT χρησιμοποιεί ένα pico-cell τότε εκπέμπει με ισχύ που δεν ξεπερνά τα 50 mW. Έτσι, έχουμε οικονομία στην μπαταρία του MT καθώς και το βασικότερο ελάχιστη ακτινοβολία που δέχεται ο χρήστης. Τονίζουμε ότι από μελέτες που έχουν γίνει η επιτρεπόμενη απόσταση που μπορεί να βρίσκεται ένας άνθρωπος από μια κεραία κανονικού cell (DCS 1800) με ισχύ 10 Watt είναι 5 μέτρα. Για τα pico-cell η ισχύς είναι 500 mW και η επιτρεπόμενη απόσταση είναι της τάξεως των 10 εκατοστών. Θα πρέπει να κατανοήσουμε ότι τοποθετώντας κεραίες σε πιο πολλά σημεία μειώνουμε το κίνδυνο από την επίδραση της ακτινοβολίας των MT στον άνθρωπο, αφού χρησιμοποιούνται πολύ κοντά στο κεφάλι. Αλλά γενικά μια τέτοια μελέτη είναι πολύ δύσκολη αφού το σώμα του ανθρώπου βρίσκεται στο κοντινό πεδίο της κεραίας του MT στο οποίο είναι πολύ δύσκολο να έχουμε αξιόπιστες μετρήσεις. Αυτά ισχύουν όταν το MT εκπέμπει με πλήρη ισχύ (2 ή 1 Watt) όπως π.χ. σε περίπτωση αραιού δικτύου. Και όλα αυτά ως απάντηση σε κάποιους 'ειδήμονες' που δεν επιτρέπουν την εγκατάσταση BTS σε κατοικημένες περιοχές, μ' αποτέλεσμα οι κεραίες να τοποθετούνται σε λόφους και τα MT να εκπέμπουν με πλήρη ισχύ, επιβαρύνοντας χωρίς λόγο τους χρήστες.

11.3.7 Σύντομη περιγραφή της διαδικασίας του directed Retry.

Έστω ότι ένα MT επιχειρεί call set-up σ' ένα BTS στο οποίο δεν υπάρχουν διαθέσιμοι πόροι TCHs, ενώ σε γειτονικές κυψέλες υπάρχουν διαθέσιμοι πόροι. Τότε μπορεί να γίνει ένα επιτυχές call set-up σύμφωνα με το παρακάτω σενάριο:

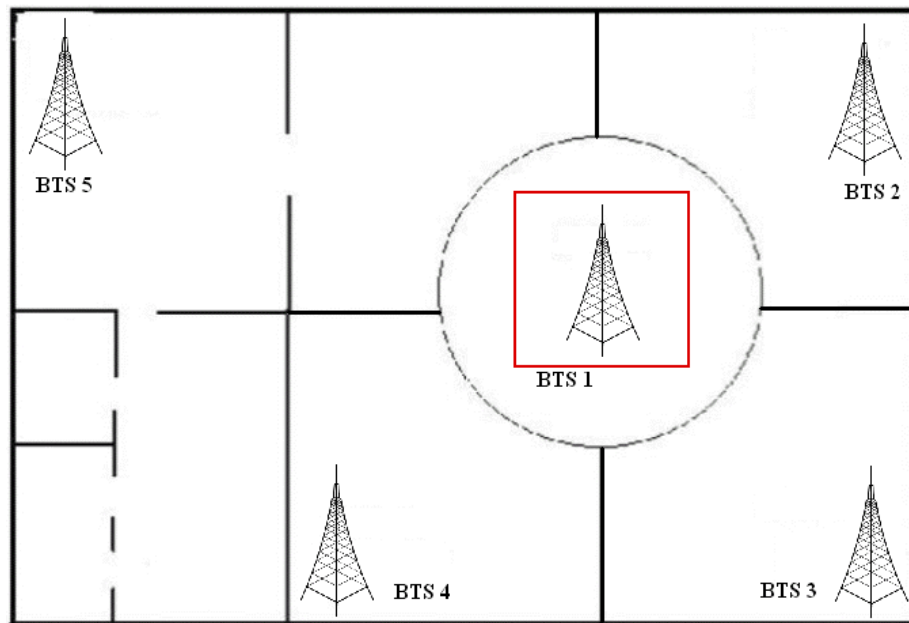
Το MT κάνει αίτηση call set-up στο BTS που έχει την υπερφόρτωση στα TCHs, τότε με την πρόσβαση του MT στο RACH → AGCH → SDCCH (SACH) το BSC ενημερώνεται (από τα SACH των SDCCH) ποια άλλα BTS ακούει το MT. Εξετάζει αν σ' αυτά υπάρχουν οι ζητούμενοι πόροι π.χ. ένα idle TCH και τότε κάνει allocation αυτού του TCH στο MT.

Με την πρώτη ματιά αυτή η μέθοδος φαίνεται ότι δεν δίνει λύση στο πρόβλημα ενός ξαφνικού congestion που εκδηλώνεται με congestion στα SDCCH, αλλά λειτουργεί άψογα σε περιόδους καθιερωμένου τηλεπικοινωνιακού φορτίου, καθώς επίσης δίνει την δυνατότητα χωρικού ελέγχου της κίνησης άμεσα από το δίκτυο έτσι ώστε να έχουμε αξιοποίηση των πόρων σε μια περιοχή που μπορεί να έχει ανομοιομορφη χωρική κίνηση.

Δεν ξέρουμε αν θα μπορούσε να γίνει και allocation SDCCH καναλιών με την παραπάνω μέθοδο (χρειαζόμαστε περισσότερες πληροφορίες για την διαδικασία ενός call set-up). Αυτή η μέθοδος θα εφαρμόζεται με επιτυχία σε umbrella BTS στα οποία τείνουν γρήγορα να δεσμευτούν τα TCHs. Σημειώνουμε ότι μετά το τέλος της κλήσης το MT επαναφέρεται στην συχνότητα του αρχικού Broadcast TRX και συγκεκριμένα στο Paging Channel PCH.

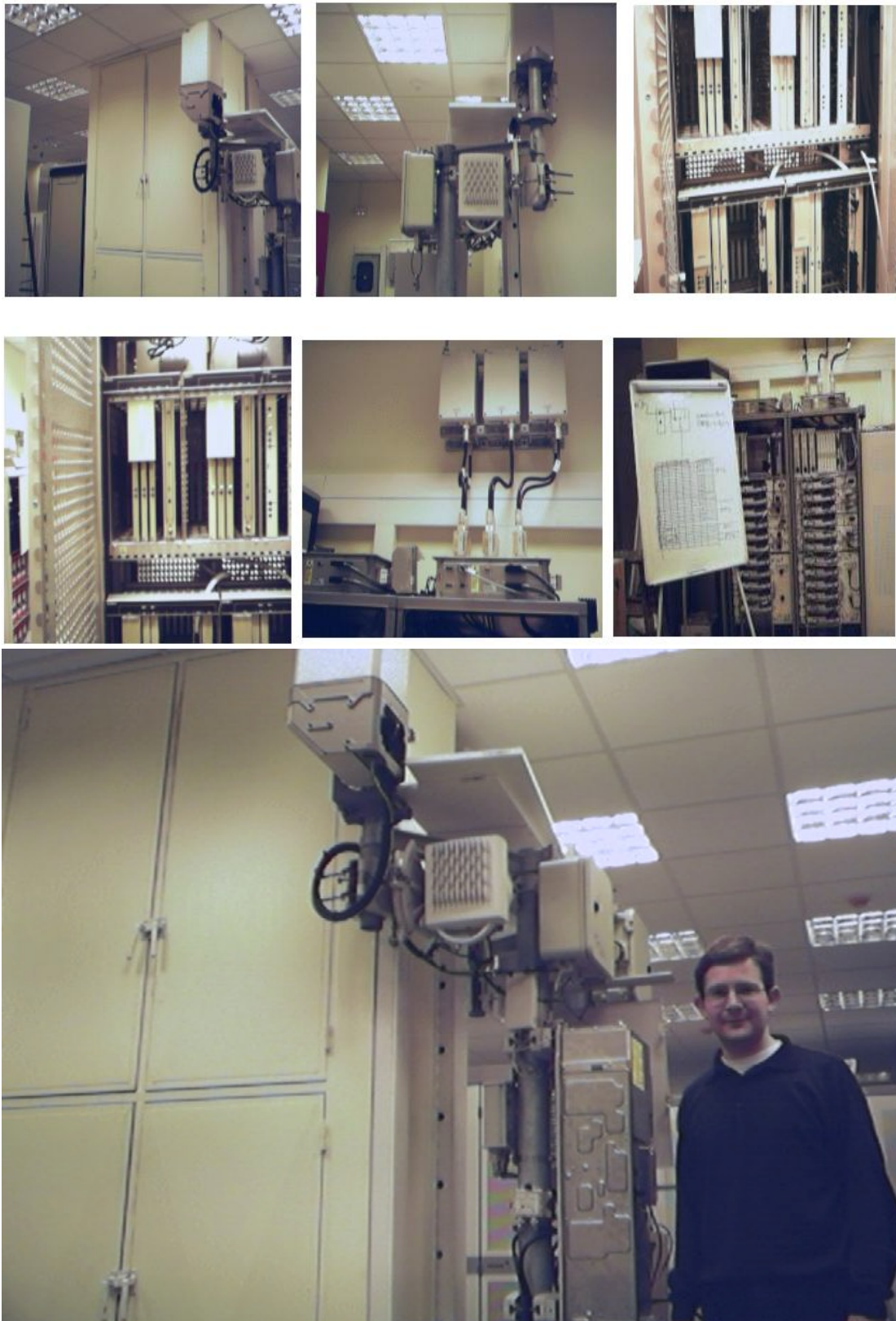
11.3.8 Πειραματικά αποτελέσματα

Σε αυτό το υποκεφάλαιο θα παρουσιάσουμε πραγματικά αποτελέσματα από την εφαρμογή της τεχνικής σε ένα πραγματικό δίκτυο. Για την ακρίβεια για τις ανάγκες του ερευνητικού προγράμματος, δημιουργήσαμε ένα αυτόνομο δίκτυο GSM με που υποστήριζε την υπηρεσία GPRS. Το δίκτυο αυτό αποτελούταν από 1 MSC, 1 BSC και 5 BTSs. Το δίκτυο αυτό δημιουργήθηκε σε εσωτερικό χώρο στις εγκαταστάσεις δοκιμών της COSMOTE, στην Αλυσίδα. Στο Σχήμα 11-11, παραθέτουμε την τοπολογία που είχαν οι σταθμοί βάσης στον εσωτερικό χώρο.



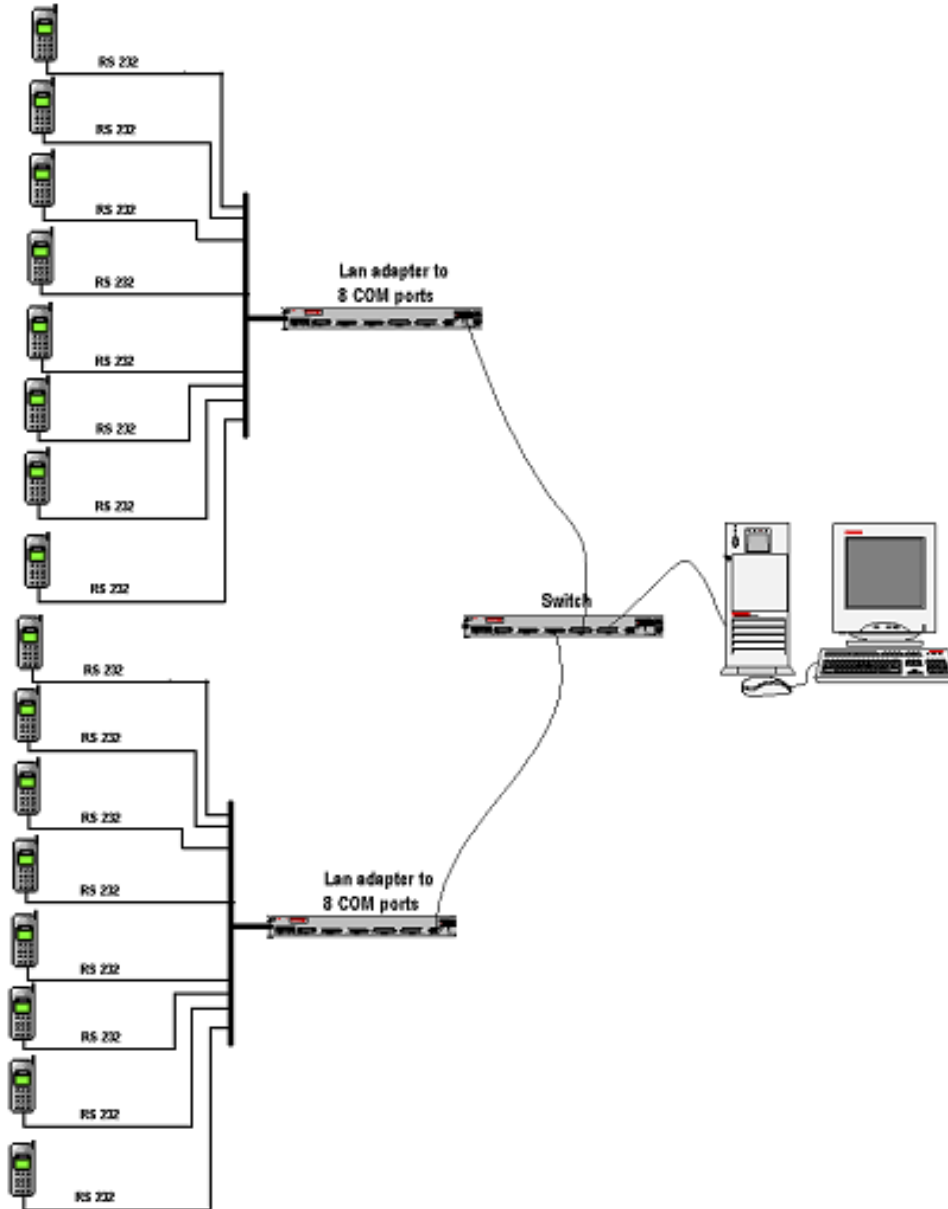
Σχήμα 11-11: Τοπολογία σταθμών βάσης στις εγκαταστάσεις δοκιμών της Cosmote

Επίσης στις παρακάτω φωτογραφίες μπορούν να δούμε τον εξοπλισμό που χρησιμοποιήθηκε.



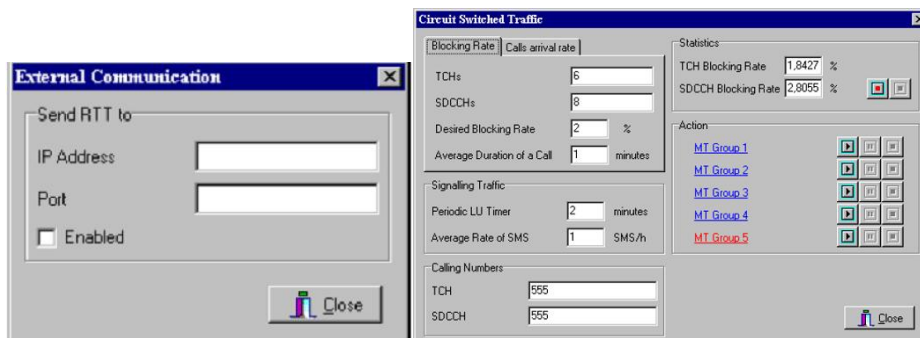
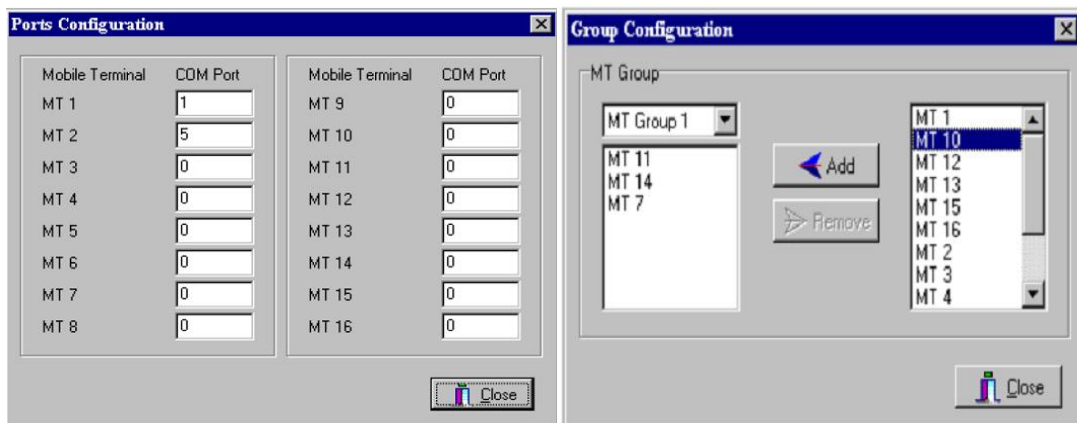
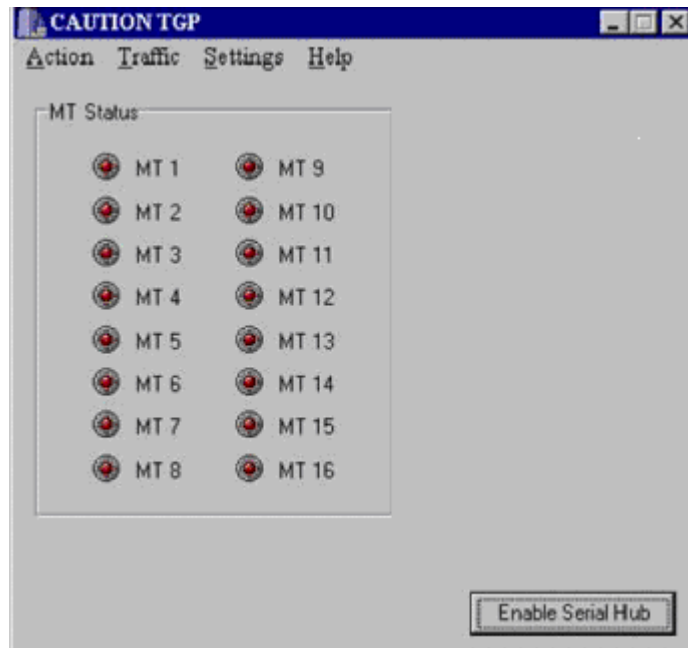
Σχήμα 11-12: Εικόνες από το GSM Test Bed στις εγκαταστάσεις της COSMOTE

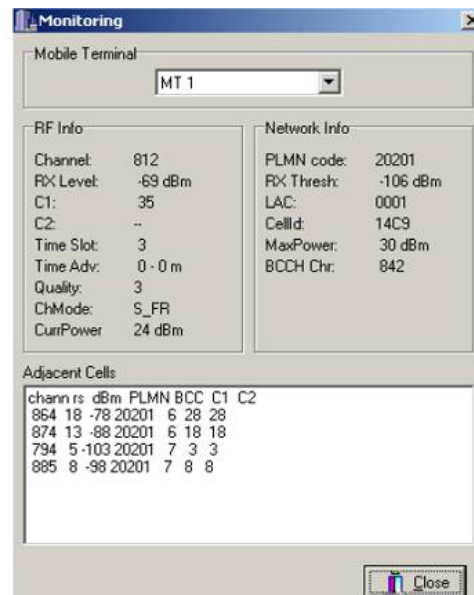
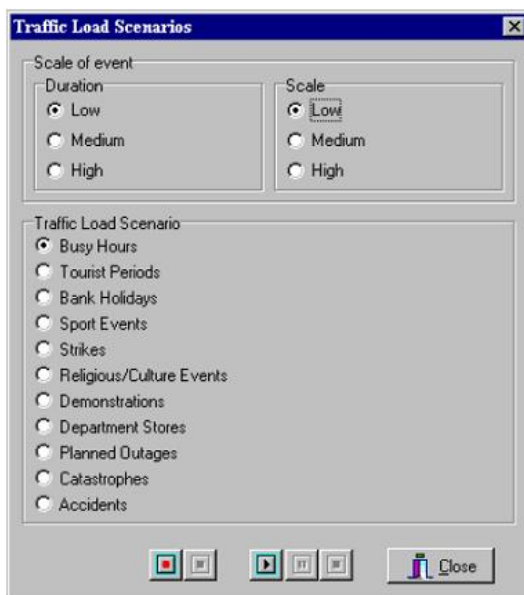
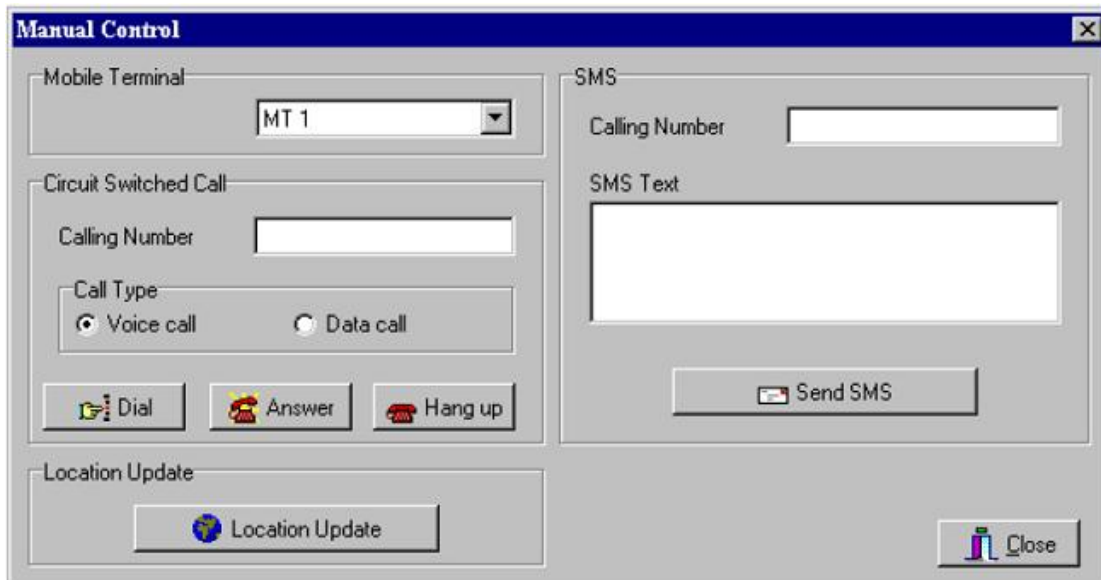
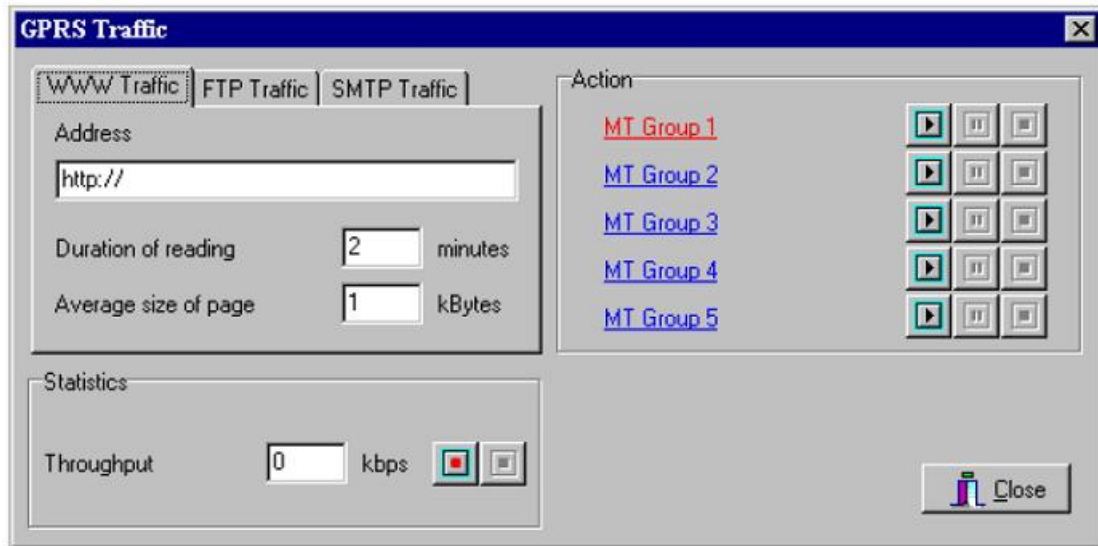
Σε αυτό το δίκτυο δημιουργήσαμε κίνηση με 16 κινητά τηλέφωνα. Συγκεκριμένα την κίνηση την δημιουργούσαμε φτάνοντας έναν GSM traffic generator, ο οποίος αποτελείται από 1 PC με ειδικό λογισμικό, το οποίο έλεγχε 16 κινητά τηλέφωνα. Στο παρακάτω Σχήμα 11-13, μπορούμε να δούμε την τοπολογία του traffic generator.



Σχήμα 11-13: Τοπολογία GSM traffic generator

Παρακάτω μπορούμε να δούμε screenshots από το γραφικό περιβάλλον της εφαρμογής του GSM traffic generator Σχήμα 11-14.

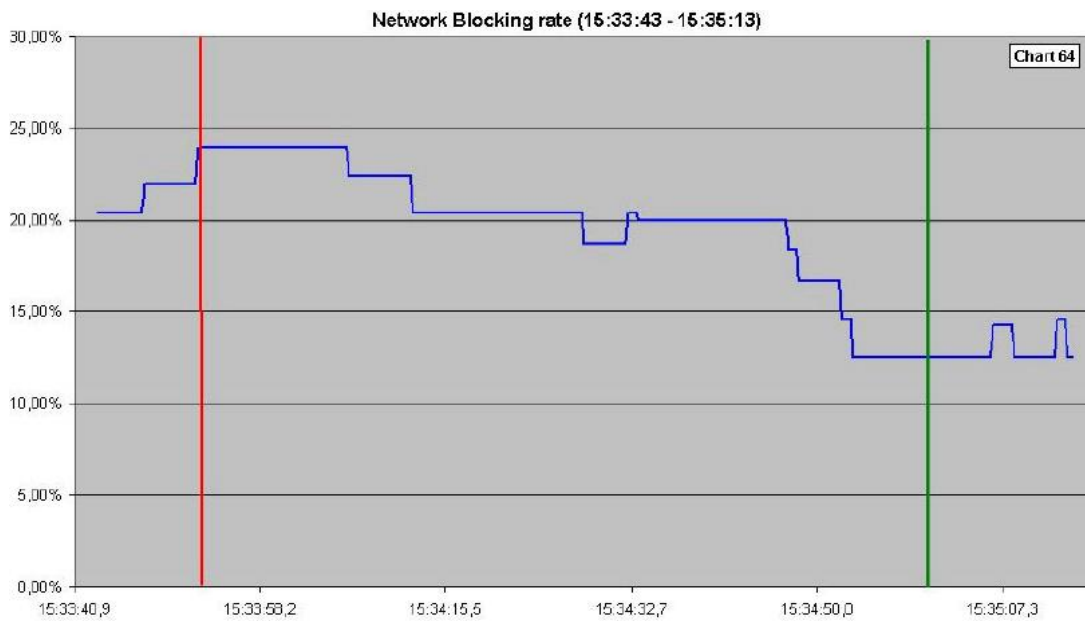




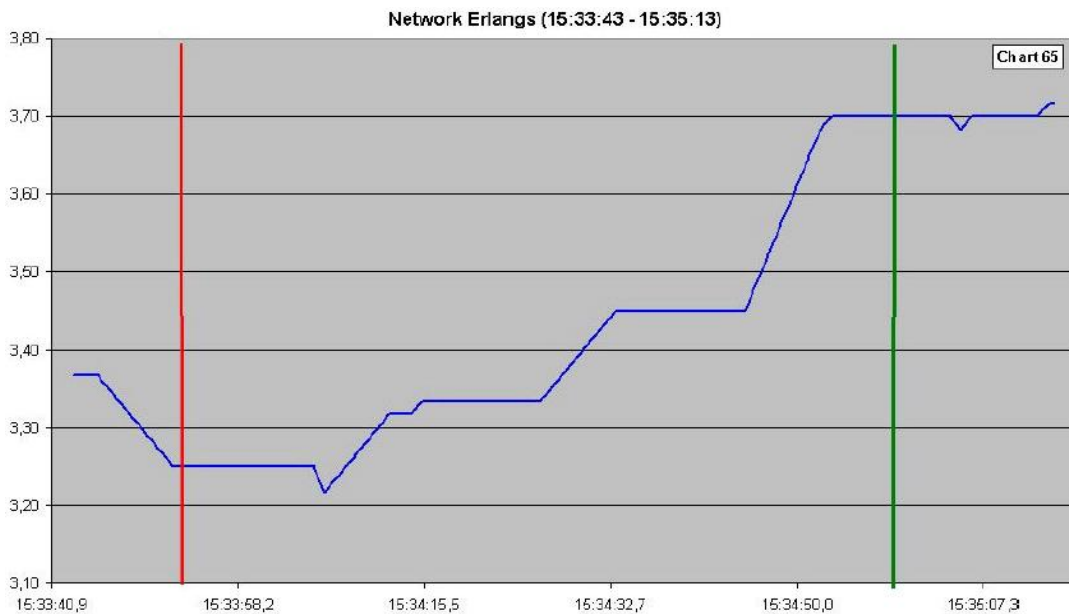
Σχήμα 11-14: Screenshots από TGP

Έτσι μετά από αυτήν την σύντομη περιγραφή του εργαλείου που χρησιμοποιήσαμε έχουμε την παρουσίαση των αποτελεσμάτων της τεχνικής στο εν λόγω δίκτυο.

Αυτό που θα δούμε στα παρακάτω Διαγράμματα 11-2, 11-3 και 11-4, είναι το Network Blocking Rate και η συνολική κίνηση σε Erlang που μεταφέρεται από το δίκτυο. Στα παρακάτω Διαγράμματα 11-2, 11-3 και 11-4, βλέπουμε με την κόκκινη κάθετη γραμμή, την χρονική στιγμή που εκτελείται η τεχνική. Παρατηρούμε την μείωση του blocking probability και την αύξηση της συνολικής κίνησης που μεταφέρεται από το δίκτυο. Έτσι καταλήγουμε ότι έχουμε μια γενική βελτίωση του δικτύου της τάξεως του 15%. Με την πράσινη κάθετη γραμμή συμβολίζουμε την χρονική στιγμή που το δίκτυο έχει ισορροπήσει μετά την εφαρμογή της τεχνικής. Δηλαδή μετά από αυτήν την χρονική στιγμή έχουμε ένα δίκτυο με ομοιόμορφα κατανεμημένους χρήστες.

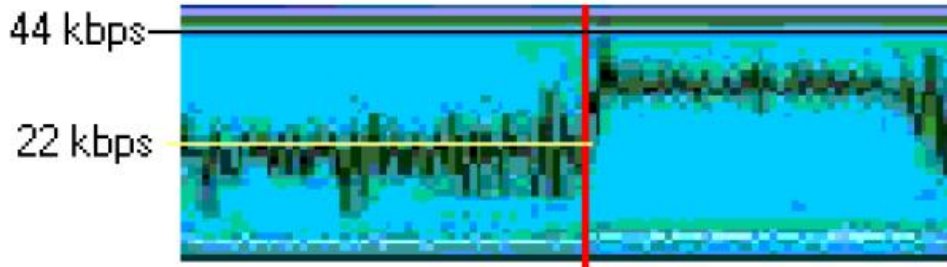


Διάγραμμα 11-2: Network blocking rate



Διάγραμμα 11-3: Συνολική μεταφερόμενη κίνηση σε Erlang

Επίσης στο παρακάτω Διάγραμμα 11-4, μπορούμε να δούμε την βελτίωση της απόδοσης στην διεκπεραιότητα της υπηρεσίας GPRS, μετά την εφαρμογή της τεχνικής. Παρατηρούμε ότι έχουμε βελτίωση 100% (από 22 kbps σε 44 kbps) στο συγκεκριμένο πείραμα.



Διάγραμμα 11-4: Βελτίωση του throughput της GPRS υπηρεσίας

11.3.9 Εφαρμογή και σύνταξη της τεχνικής σε NOKIA BSC

Εδώ θα περιγραφεί η εφαρμογή της τεχνικής σε πραγματικό σύστημα BSS της NOKIA, το οποίο χρησιμοποιήθηκε στο παραπάνω πειραματικό που είχε στηθεί στις εγκαταστάσεις της COSMOTE. Συγκεκριμένα παρουσιάζεται το συντακτικό με τα MML που υποστηρίζει το BSC για την μεταβολή των C2 offset παραμέτρων. Στο παράρτημα παρουσιάζεται και το αντίστοιχο συντακτικό MML για συστήματα ERICSSON.

Η σύνταξη της γλώσσας MML παρουσιάζεται με πλήρη περιγραφή όλων των παραμέτρων.

Με την εντολή EQM έχουμε πρόσβαση στις παραμέτρους του cell reselection μηχανισμού. Επίσης θα δούμε και την δυνατότητα μεταβολής και άλλων επιπλέον παραμέτρων (PI, QUA, REO, TEO και PET) .

Σύνταξη με MML

```
EQM : ( BTS = < BTS identification > |
      NAME = < BTS name > ) :

      ( [PMAX = < MS txpwr max >|
        PMIN = < MS txpwr min >] ... :

        [ PI = < cell reselection parameter index >|
          QUA = < cell bar qualify >|
          REO = < cell reselect offset >|
          TEO = < temporary offset >|
          PET = < penalty time > ] <option> ) ... ;
```

BTS identification

BTS = decimal number

This parameter identifies the BTS with a decimal number. The value range depends on the BSC hardware configuration and the corresponding options. Giving the parameter BTS, it is not possible to set the parameter NAME.

BTS name

NAME = text string

This parameter identifies the BTS by name. The name can contain 1 to 15 characters.

MS txpwr max

PMAX = decimal number

This parameter defines the maximum power level an MS may use in the serving cell.

The values are:

MS txpwr min

PMIN = decimal number

This parameter defines the minimum power level an MS may use in the serving cell.

The values are:

For GSM

5...43 dBm with 2 dBm step

For GSM 1800

0...36 dBm with 2 dBm step

For GSM 1900

0...32 dBm with 2 dBm step and 33 dBm with 1 dBm step

cell reselection parameter index <option>

This parameter defines whether C2 reselection parameters are broadcast to mobile stations.

The C2 cell reselection allows the operator to define other criteria for cell reselection in addition to power level.

The values are:

PI= Y or N (C2 reselection parameters are broadcast or C2 reselection parameters are not broadcast)

Notice:

The C2 cell reselection parameters (PI, QUA, REO, TEO and PET) are not relevant in GSM phase 1.

cell bar qualify <option>

This parameter defines whether cell barring can be overridden.

The values are:

QUA= Y or N (cell barring can be overridden or cell barring cannot be overridden)

cell reselect offset <option>

REO = decimal number

This parameter defines the offset of the C2 reselection criterion for a cell. The values range from 0 dB to 126 dB, and can be changed in 2 dB steps.

temporary offset <option>

TEO = decimal number

This parameter defines the negative offset of the C2 reselection criterion for the duration of the penalty time (PET) after the MS has placed the cell on the list of the strongest carriers.

The values range from 0 dB to 70 dB, and can be changed in 10 dB steps. Value 70 dB means infinity.

penalty time <option>

PET = decimal number

This parameter defines the duration for which the temporary offset (TEO) applies. The values range from 20 s to 640 s, and can be changed in steps of 20 s. Value 640 indicates that the parameter cell reselect offset (REO) will be changed, and that the temporary offset (TEO) will be ignored.

Παράδειγμα:

EQM : BTS=33: PI=Y , REO=4 , TEO=10 , PET=20

Θέτουμε στο BTS με id 33, cell reselect offset=4 dB, Temporary offset= 10 dB και Penalty Time = 20 sec.

Function

Με την εντολή EQG μπορούμε να μεταβάλουμε την τιμή της παραμέτρου cell reselect hysteresis.

Παράμετροι:

BTS identification, BTS name : cell reselect hysteresis,

Syntax

EQG : (BTS = < BTS identification > |
NAME = < BTS name >) :
(HYS = < cell reselect hysteresis >);

Parameter explanations

BTS identification

BTS = decimal number

BTS name

NAME = text string

cell reselect hysteresis

HYS = decimal number

Example:

EQG : BTS=33 : HYS=12;

Modify parameter cell reselect hysteresis=12 dB in the BTS with identity 33.

11.4 Συμπεράσματα

Όπως βλέπουμε από την όλη περιγραφή της τεχνικής, μπορούμε να επιτύχουμε πλήρης ομοιόμορφη κατανομή της κίνησης κατά μήκος του δικτύου ακόμα και στα πιο δύσκολα σενάρια κίνησης. Από τους θεωρητικούς υπολογισμούς με το Astrix, βλέπουμε ότι μπορεί να επιτευχθεί έως και 50 % αύξηση της μεταφερόμενης κίνησης.

Από την εφαρμογή της τεχνικής στο πειραματικό δίκτυο της COSMOTE είδαμε έως και 25 % αύξηση της μεταφερόμενης κίνησης και αυτό διότι το δίκτυο που είχαμε αναπτύξει ήταν μικρής γεωγραφικής έκτασης. Σε πραγματικά δίκτυα η απόδοση της τεχνικής θα είναι πολύ μεγαλύτερη αν βέβαια τηρηθούν οι περιοριστικοί κανόνες που προαναφέραμε.

12 Dynamic Cell resizing with the Rx Level

12.1 Εισαγωγή

Η παρακάτω μέθοδος επινοήθηκε και αναπτύχθηκε από τον Νικόλαο Χρ. Παπαουλάκη Ηλεκτρολόγο Μηχανικό Ε.Μ.Π. Τονίζεται ότι η δυναμική χρησιμοποίηση της παραμέτρου **Rx Level**, για την αποσυμφόρηση κυψελωτών δικτύων δεν υπήρχε σε προηγούμενη βιβλιογραφία.

Η μέθοδος που θα περιγραφεί είναι μια εκτοπιστική μέθοδος. Δηλαδή, δεν επιτρέπει σ' ένα συγκεκριμένο αριθμό χρηστών, την πρόσβαση στο δίκτυο. Για την περιγραφή της μεθόδου, θεωρούμε ότι έχουμε ομοιόμορφα χωρικά κατανεμημένους χρήστες.

Με την μέθοδο του Rx Level επιτυγχάνουμε την μείωση της επιφάνειας που καλύπτει μια κυψέλη, έτσι ώστε το σύστημα να λειτουργήσει ομαλά, δηλαδή με τη βέλτιστη αξιοποίηση των τηλεπικοινωνιακών πόρων, εκτοπίζοντας έναν αριθμό χρηστών.

12.2 Παράμετροι

RxLevAm (Rx Level Access minimum): Το ελάχιστο επιτρεπτό σήμα για το οποίο το MT μπορεί να χρησιμοποιήσει το συγκεκριμένο BTS. Αυτή η τιμή καθορίζεται από τον operator και οι τιμές της ποικίλουν ανάλογα τον τύπο και τον ρόλο της κυψέλης. Για την Cosmote είναι πάντα -106 dBm. Για την Vodafone, για κανονικές κυψέλες (DCS 900-1800) είναι -105 dBm και για micro-cells -87 dBm. Για την TIM για κανονικές κυψέλες DCS 1800(900) είναι $-102(-111)$ dBm και για micro-cells -85 dBm.

(Τα παραπάνω στοιχεία προέρχονται από monitoring).

Σύμφωνα με το μοντέλο ραδιοκάλυψης COST 231 αν μειώσουμε το Rx Level κατά AdB,

η κυψέλη θα καλύπτει $10^{\frac{A}{20}}$ φορές μικρότερη επιφάνεια.

Η τιμή του A θα καθορίζεται, όπως αναφέραμε, έτσι ώστε να έχουμε το βέλτιστο utilization.

12.3 Εφαρμογές

α) Έστω ότι έχουμε μια μόνο κυψέλη που έχει συμφόρηση, τότε ελαττώνοντας το Rx Level της κατά A dB έχουμε μείωση της καλυπτόμενης επιφάνειας. Το C1 path-loss criterion, καθώς και το C2 reselection criterion, ελαττώνονται και αυτά κατά A dB. Οπότε, οι χρήστες που βρίσκονται εκτός της καινούργιας καλυπτόμενης επιφάνειας έχουν την δυνατότητα να κάνουν reselection σε γειτονικές κυψέλες. Δηλαδή, αυτή η μέθοδος λειτουργεί σαν την μέθοδο **Dynamic Cell resizing with C2 value**, αλλά με ένα μειονέκτημα. Το μειονέκτημα σε σχέση με την C2 Value τεχνική είναι ότι αν το MT βρίσκεται σε μια περιοχή όπου καλύπτεται μόνο από το congested cell (π.χ. υπόγειο), τότε με την μέθοδο του Rx Level, ενώ υπήρχε ικανοποιητικής εντάσεως σήμα, δεν θα του επιτρέψει την πρόσβαση, σε αντίθεση με την τεχνική του C2 Value που του επιτρέπει την πρόσβαση χωρίς κανένα πρόβλημα.

β) Έστω ότι έχουμε μια μόνο κυψέλη που έχει συμφόρηση, τότε ελαττώνοντας το Rx Level της κατά A dB και αυξάνοντας κατά A dB την τιμή της Cell Reselect offset C2 έχουμε μείωση της καλυπτόμενης επιφάνειας χωρίς να δίνεται η δυνατότητα στα MT που βρίσκονται εκτός της καινούργιας καλυπτόμενης επιφάνειας την δυνατότητα επικοινωνίας

με το δίκτυο. Αυτή η μέθοδος εφαρμόζεται στην περίπτωση που δεν θέλουμε να επηρεάσουμε το τηλεπικοινωνιακό φορτίο των γειτονικών κυψέλων, της congested, είτε επειδή και αυτές είναι congested, είτε διότι επιθυμούμε την απομόνωση του προβλήματος της συμφόρησης.

Π.χ. Σε περίπτωση σεισμού όπου σχεδόν όλες οι κυψέλες βρίσκονται σε συμφόρηση η παραπάνω μέθοδος ενεργοποιείται με τιμές στο Rx Level, τέτοιες ώστε να εκτοπιστεί εκείνος ο αριθμός χρηστών, έτσι ώστε το δίκτυο να λειτουργήσει με τη βέλτιστη αξιοποίηση των δικτυακών πόρων, το οποίο δεν είναι δυνατόν να επιτευχθεί σε περίπτωση συμφόρησης. Όπως είναι κατανοητό το κριτήριο για την πρόσβαση στο δίκτυο σε μια τέτοια περίπτωση είναι η απόσταση (λαμβανόμενο σήμα) από την κυψέλη.

Ακόμα, στην δεύτερη περίπτωση, που όσο μειώνουμε το RxLevAm αυξάνουμε το Cell Reselect offset, εκτοπίζοντας έναν αριθμό χρηστών, η τιμή του νέου RxLevAm θα μπορεί να προκύψει από ένα σύστημα κλειστού βρόχου έτσι ώστε το σύστημα να δουλεύει συνεχώς στο 1% blocking probability και στο optimum utilization. Δηλαδή, η παραπάνω μέθοδος καταφέρνει να επιτύχει βέλτιστο utilization σε real time και πολύ γρήγορα κάτι που δεν μπορούν να κάνουν άλλες προεκτοπιστικές μέθοδοι.

12.4 Εφαρμογή και σύνταξη της τεχνικής σε NOKIA BSC

Εδώ θα περιγραφεί η εφαρμογή της τεχνικής σε πραγματικό σύστημα BSS της NOKIA, το οποίο χρησιμοποιήθηκε στο παραπάνω πειραματικό που είχε στηθεί στις εγκαταστάσεις της COSMOTE. Συγκεκριμένα παρουσιάζεται το συντακτικό με τα MML που υποστηρίζει το BSC για την μεταβολή των RX Level minimum παραμέτρων. Στο παράρτημα παρουσιάζεται και το αντίστοιχο συντακτικό MML για συστήματα ERICSSON.

Η σύνταξη της γλώσσας MML παρουσιάζεται με πλήρη περιγραφή όλων των παραμέτρων.

Με την εντολή EOG έχουμε πρόσβαση στις παραμέτρους του RX Level minimum μηχανισμού. Επίσης θα δούμε και την δυνατότητα μεταβολής και άλλων επιπλέον παραμέτρων όπως της TXP.

Σύνταξη της MML

Παράμετροι

BTS identification, BTS name : MS txpwr max CCH, rxlev access min

Συντακτικό

```
EQG : ( BTS = < BTS identification > |
      NAME = < BTS name > ) :
      (
        TXP = < MS txpwr max CCH > |
        RXP = < rxlev access min > |
      );
```

Περιγραφή παραμέτρων

BTS identification

BTS = decimal number

This parameter identifies the BTS with a decimal number. The value range depends on the BSC hardware configuration and the corresponding options.

BTS name

NAME = text string

This parameter identifies the BTS by name. The name can contain 1 to 15 characters.

MS txpwr max CCH

TXP = decimal number

This parameter defines the maximum transmission power an MS may use when accessing a CCH in the cell. The values are:

1. For GSM: 5...43 dBm with 2 dBm step
2. For GSM 1800: 0...30 dBm with 2 dBm step
3. For GSM 1900: 0...32 dBm with 2 dBm step and 33 dBm with 1 dBm step

rxlev access min

RXP = decimal number

This parameter defines the minimum power level an MS has to receive before it is allowed to access the cell. The values range from -110 dBm to -47 dBm.

Παράδειγμα:

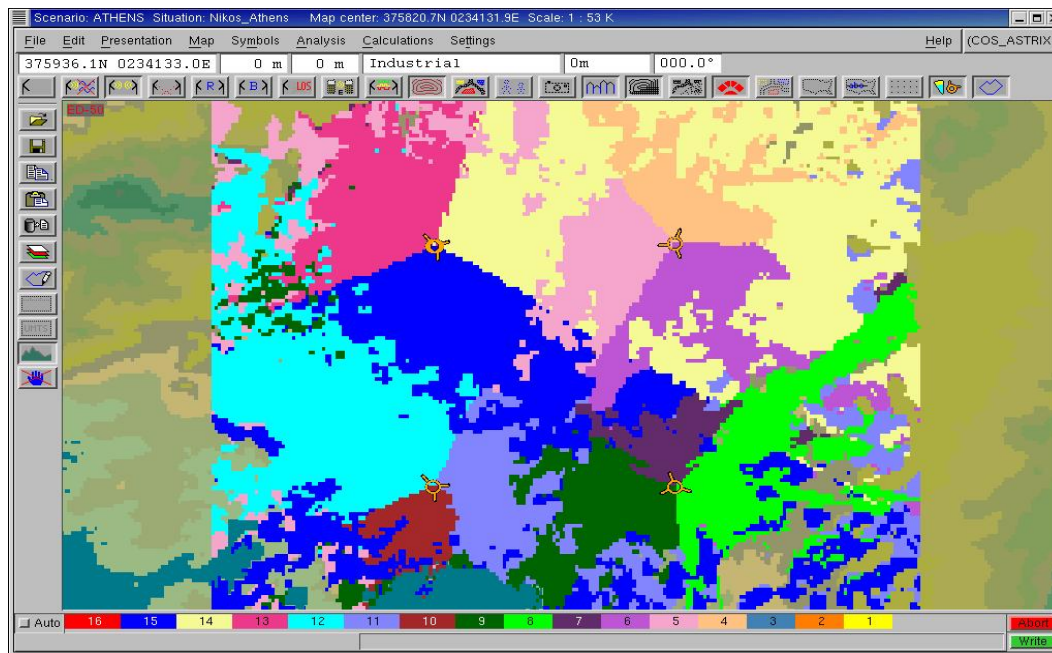
EQG : BTS=33 : TXP=22 , RXP=-98;

Μεταβολή της μέγιστης επιτρεπτής ισχύος πρόσβασης στο BTS με αριθμό ταυτότητα 33 σε 22 dBm και RX Level min= -98 dBm

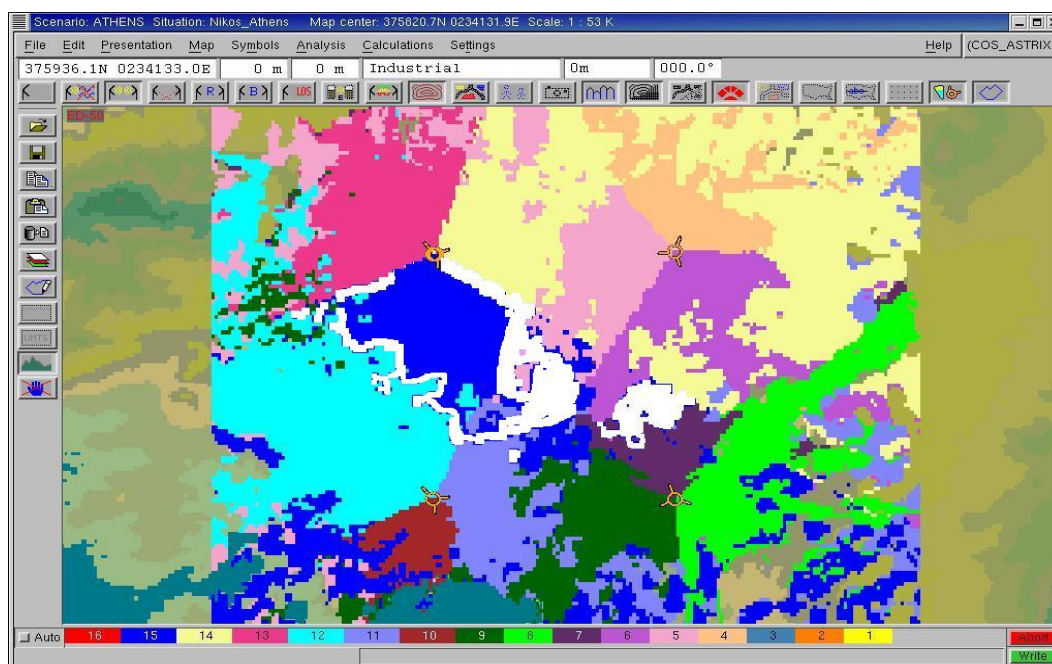
12.5 Παραδείγματα

Έστω ότι σε ένα BTS έχουμε Blocking Probability 23,952% σε περίπτωση αυξημένου congestion. Με Rx Level από -106 dBm στο -94 dBm έχουμε Blocking Probability 0 %. Με Rx Level από -106 dBm στο -100 dBm έχουμε Blocking Probability 0,63% δηλαδή παρατηρούμε ότι με Rx Level από -106 dBm στο -102 dBm έχουμε Blocking Probability 1%, δηλαδή λειτουργία του δικτύου στο μέγιστο utilization.

Στο παρακάτω Σχήματα 12-1 & 12-2 βλέπουμε την επίδραση της αλλαγής του RxLevAm και του Cell Reselection offset, στο planning του δικτύου. Οι χρήστες που βρίσκονται στην λευκή περιοχή, δεν τους επιτρέπεται η πρόσβαση στο δίκτυο, διότι $C1 < 0$.



Σχήμα 12-1: Ραδιοκάλυψη με $RXLevel_{min} = -106$

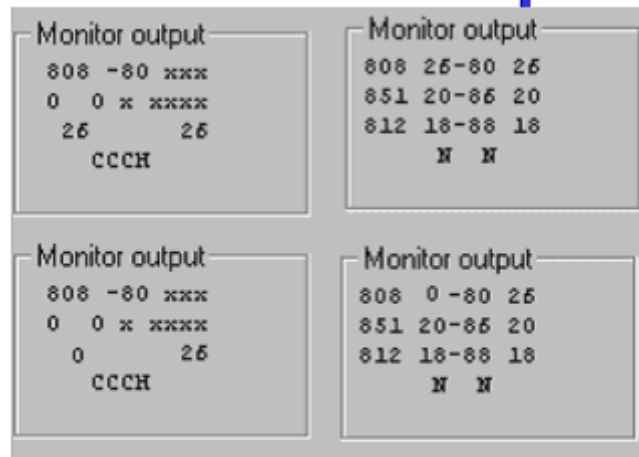


Σχήμα 12-2: Ραδιοκάλυψη με $RXLevel_{min} = -100$ και $C2 = C1 + 6$

Field measurement

Παρατηρούμε ότι μετά την αλλαγή των παραμέτρων το $C1$ από 15 dB έγινε 0 dB. Οπότε το συγκεκριμένο MT δεν έχει την δυνατότητα πρόσβασης στο BTS με BCCH Ch 808. Ακόμα το MT δεν κάνει reselection στο επόμενο BTS αλλά παραμένει αποκλεισμένο από το δίκτυο.

Rx Level technique



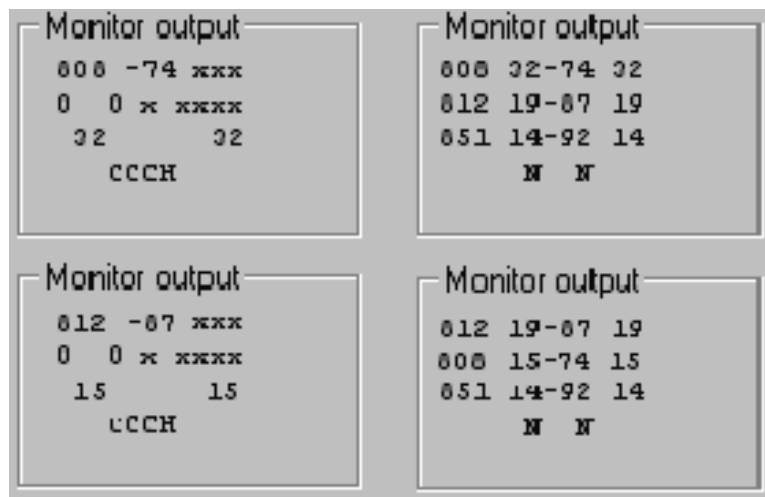
For the Cell with channel 808
 RxLevel= -106 dBm RXLevel=-80 dBm
 C2 = C1 C2=C1 + 26

Σχήμα 12-3:RX Level Field Measurement

Field measurement

Στο παρακάτω Σχήμα 12-4 βλέπουμε ένα screenshot, στο οποίο φαίνεται ο τρόπος λειτουργίας της μεθόδου.

Παρατηρούμε ότι το MT είναι κλειδωμένο στο cell με BCCH κανάλι 808. Εδώ το RxLevAm είναι -106 dBm. Έστω ότι το αυτό το cell είναι υπό συμφόρηση . Τότε ο διαχειριστής του δικτύου μπορεί να αλλάξει δυναμικά το RxLevAm σε -89 dBm. Οπότε έχουμε, βάση της σύγκρισης των C2, το cell με BCCH κανάλι 812 ως επικρατέστερο. Έτσι το MT κάνει reselection στο cell με BCCH κανάλι 812 το οποίο έχει ελεύθερους πόρους.

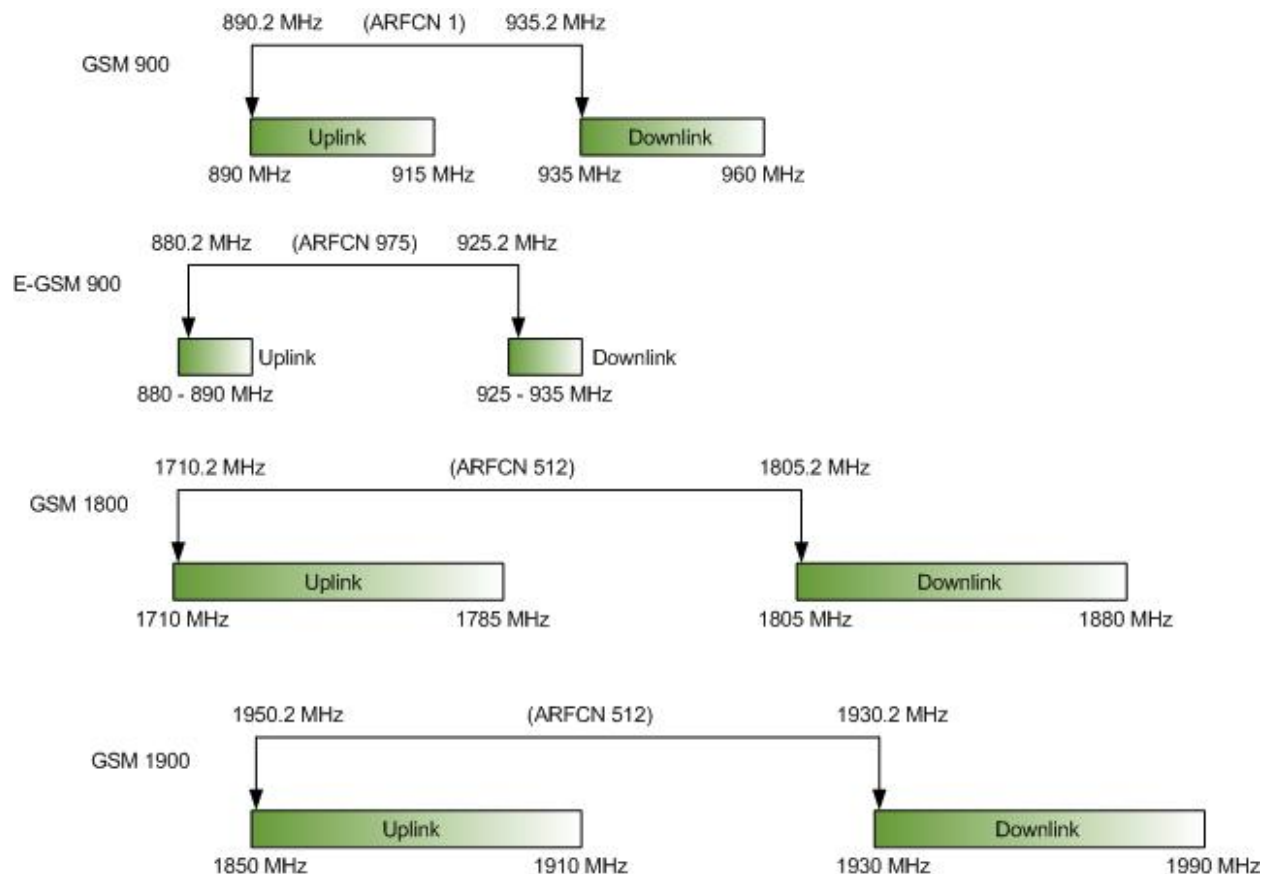


Σχήμα 12-4: Screenshot από Nokia netmonitor

13 Τροποποίηση της λίστας BCCH συχνοτήτων, εξαιτίας δικτυακής συμφόρησης

13.1 Εισαγωγή

Όταν ένα MT βρίσκεται σε idle κατάσταση, τότε η διαδικασία του cell selection γίνεται βάση της λίστας των BCCH συχνοτήτων που εκπέμπει το serving cell. Συγκεκριμένα κάθε σταθμός βάσης εκπέμπει έως 32 Absolute Radio Frequency Code Number (ARFCN) των γειτονικών του κυψελών Σχήμα 13-1.



Σχήμα 13-1: ARFCN όλων των GSM δικτύων.

Οι BCCH συχνότητες που είναι υποψήφιες για reselection, ταξινομούνται σε μια λίστα που βρίσκεται στην μνήμη του MT βάση του μεγαλύτερου C2 value, όπως φαίνεται στο παρακάτω Σχήμα 13-2:

Monitor output	Monitor output	Monitor output
808 35-71 35	774 12-94 12	858 8-98 8
851 23-83 23	788 11-95 11	xxxxxxxxxxxxxxxx
790 14-92 14	812 10-96 10	xxxxxxxxxxxxxxxx
N N	N N N	xx xx xx

Σχήμα 13-2: Λίστα γειτονικών σταθμών βάσης όπως φαίνεται σε ένα κινητό

Έτσι το cell με το μεγαλύτερο C2 value είναι και το επικρατέστερο και το MT χρησιμοποιεί αυτόν τον σταθμό για την πρόσβαση του στο δίκτυο. Επίσης, η λίστα με τις συχνότητες των γειτονικών κυψελών δεν χρησιμοποιείται μόνο σε idle κατάσταση αλλά και όταν το MT βρίσκεται σε σύνδεση με την κυψέλη. Συγκεκριμένα αυτή η λίστα περιέχει τις κυψέλες που είναι υποψήφιες για διαπομπή. Το MT μεταφέρει αυτήν την λίστα μαζί με τις μετρήσεις εντάσεως του σήματος στο SACCH, με τα οποία ενημερώνεται το αρμόδιο BSC και αποφασίζει για τις διαπομπές. Σε μια τέτοια λίστα, που εκπέμπεται από το BCCH της επικρατούσας κυψέλης, μπορεί να περιέχει έως και 32 συχνότητες.

13.2 Περιγραφή της μεθόδου

Όταν μια κυψέλη βρίσκεται σε κατάσταση συμφόρησης τότε η πρώτη κίνηση που πρέπει να γίνει έτσι ώστε να μην έχουμε επιπλέον προβλήματα, είναι να αποτρέψουμε νέες κλήσεις από MT μέσα από αυτήν την κυψέλη. Δηλαδή, δεν θέλουμε νέα MT να επισκέπτονται αυτήν την κυψέλη, καθώς και να μην είναι η προβληματική κυψέλη υποψήφια για διαπομπές, διότι θα είχαμε μεγάλο αριθμό αποτυχημένων κλήσεων και διαπομπών.

Όμως ο διαχειριστής του δικτύου έχει την δυνατότητα να τροποποιεί δυναμικά την λίστα αυτή που περιέχει όλες τις BCCH συχνότητες των γειτονικών κυψελών που εκπέμπεται από κάθε κυψέλη, βάση του τηλεπικοινωνιακού φορτίου. Έτσι, αφαιρώντας δυναμικά την συχνότητα της προβληματικής κυψέλης από τις λίστες συχνοτήτων των γειτονικών κυψελών καταφέρνουμε να επιτύχουμε την απομόνωση της προβληματικής κυψέλης από το δίκτυο. Συγκεκριμένα δεν θα έχουμε νέα MT σε αυτήν καθώς δεν θα γίνονται προσπάθειες διαπομπών ή directed retry προς αυτήν.

13.3 Πλεονεκτήματα – μειονεκτήματα

Με αυτήν την τεχνική μπορεί ο διαχειριστής του δικτύου, να την εφαρμόζει δυναμικά χωρίς να δημιουργεί επιπλέον διαπομπές ή εσφαλμένα call set-up. Αυτό επιτυγχάνεται διότι κατά την διάρκεια της διαπομπής το κινητό τερματικό στέλνει στο BSC περιοδικά μέσω των καναλιών SACCH μετρήσεις με τους γειτονικούς σταθμούς βάσης που λαμβάνει το τερματικό καθώς και την ένταση τους. Βάση αυτών των αναφορών το BSC αποφασίζει αν θα πρέπει να γίνει διαπομπή και σε ποια κυψέλη. Είναι απόλυτα λογικό να βελτιστοποιηθεί ο μηχανισμός διαπομπής και γενικά να ελαττωθεί ο αριθμός αποτυχημένων διαπομπών όταν μέσα από αυτήν την λίστα αναιρούμε κυψέλες που έτσι και αλλιώς δεν θα μπορούσαν να εξυπηρετήσουν την δεδομένη στιγμή. Ακόμα και κατά τα την διάρκεια της κλήσης όταν έχουμε ενεργοποίηση του μηχανισμού directed retry έχουμε τα ίδια αποτελέσματα με την εφαρμογή της τεχνικής καθώς βελτιστοποιείται ο μηχανισμός με την ελαχιστοποίηση των υποψηφίων κυψελών που θα έχει να επιλέξει το BSC για ανάθεση καναλιού. Επίσης, η μόνη απαίτηση που χρειάζεται για την εφαρμογή της και την αποτελεσματικότητά της είναι το δίκτυο να είναι αρκετά πυκνό. Δηλαδή, να υπάρχει αρκετή αλληλοεπικάλυψη (overlapping) μεταξύ των BTS. Αν δεν υπάρχει επαρκής αλληλοεπικάλυψη τότε θα δημιουργηθούν κενά στην κάλυψη του δικτύου.

Επίσης, η μέθοδος αποδίδει τα μέγιστα όταν το δίκτυο έχει πολύ κινητικούς χρήστες. Ακόμα, τα MT που ήταν κλειδωμένα στο cell του οποίου η συχνότητα αφαιρέθηκε από την λίστα των γειτονικών cell της, εξακολουθούν να βρίσκονται σε αυτό.

13.4 Εφαρμογή και σύνταξη της τεχνικής σε NOKIA BSC

Περιγραφή της εντολής

Με την εντολή EBM μπορούμε να προσθέσουμε ή να αφαιρέσουμε BCCH συχνότητες στην broadcasted λίστα γειτονικών συχνοτήτων.

Παράμετροι

identification of BCCH frequency list, identification of function: frequency;

Σύνταξη της MML

EBM: <identification of BCCH frequency list> ... ,
<identification of function>:

<frequency> ... ; <option>

Περιγραφή παραμέτρων

identification of BCCH frequency list

This parameter identifies the BCCH frequency list to be modified. The values range from 1 to 255. You can enter multiple BCCH frequency lists by using the characters & and &&. You cannot modify several types of frequency lists with one command. The parameter is obligatory.

identification of function

This parameter identifies whether the command adds a frequency to the BCCH frequency list or removes a frequency from it. The values are:

- A add frequency
- R remove frequency

The parameter is obligatory.

frequency

This parameter defines the frequency to be added to the BCCH frequency list or removed from it.

The values are:

- The value range of Primary GSM is 1 - 124.
- The value range of Extended GSM is 975 - 1023, 0.

The maximum number of frequencies in one BCCH frequency list is 32. For entering multiple frequencies the character & is used where the same frequency is entered only once. The parameter is obligatory.

Παραδείγματα

1. Προσθέσε τις συχνότητες 100 και 120 από τις BCCH frequency lists των BTS με id 126, 127 και 128.

EBM:126&&128,A:100&120;

2. Αφαιρέστε τις συχνότητες 57 και 66 από τις BCCH frequency lists 124, 125, 126, 127 και 128.

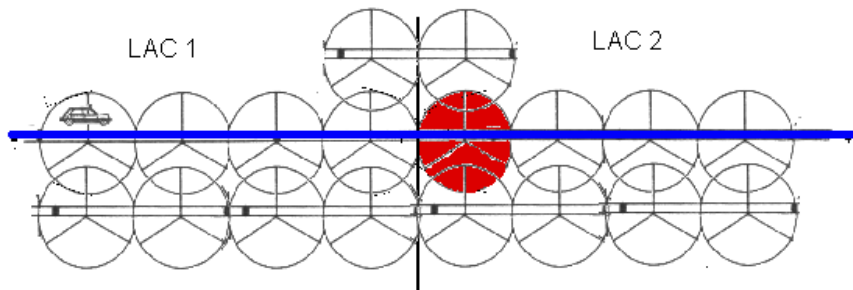
EBM:124&&128,R:57&66;

3. Αφαιρέστε τις συχνότητες 10 και 20 από τις BCCH frequency lists 1 και 10.

EBM:1&10,R:10&20;

13.5 Αποτελέσματα

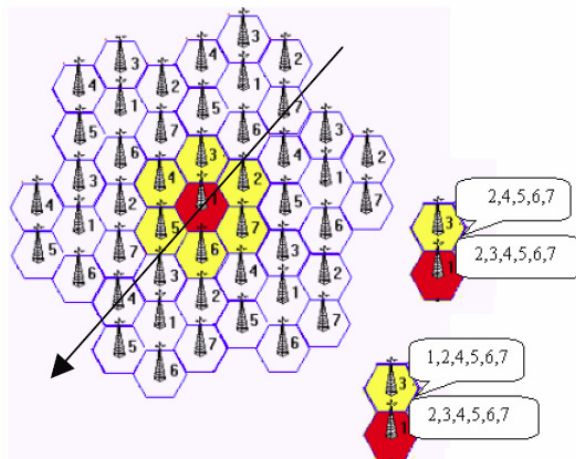
Η μπλε γραμμή στο παρακάτω Σχήμα 13-3 είναι ένας κεντρικός δρόμος. Αυτός ο δρόμος κόβεται κάθετα από δυο Location Areas, την LA1 και την LA2. Έστω ότι η κυψέλη που ανήκει στο LA2 και βρίσκεται στα σύνορα με την LA1 είναι υπό συμφόρηση. Τότε, όλα τα MT που επισκέπτονται αυτήν την κυψέλη θα επιχειρούν LU, αλλά λόγω την συμφόρησης στα SDCCH κανάλια θα έχουμε μεγάλο αριθμό LU. Εφαρμόζοντας όμως την παραπάνω μέθοδο αποτρέπουμε τα MT που διασχίζουν τον δρόμο να κάνουν LU στην προβληματική κυψέλη, αλλά στις γειτονικές της.



Σχήμα 13-3: Εφαρμογή της τεχνικής σε συνοριακές Location areas

Γενικώς ένα MT που διασχίζει το δίκτυο σύμφωνα με το παρακάτω Σχήμα 13-4 δεν θα κλειδώσει ποτέ στο κόκκινο (προβληματικό) cell, αλλά στα γειτονικά του.

Μια άλλη εξήγηση της τεχνικής φαίνεται στο παρακάτω Σχήμα 46. Πιο, συγκεκριμένα το κινητό τερματικό διανύει το δίκτυο όπως φαίνεται στο Σχήμα 46. Επίσης σημειώνουμε ότι η κυψέλη με κόκκινο χρώμα είναι σε κατάσταση συμφόρησης. Θεωρούμε ότι ο χρήστης θα κάνει κλήση όταν θα βρίσκεται σε αυτήν την περιοχή. Αυτό όπως είναι βέβαιο θα οδηγήσει σε αποτυχημένη προσπάθεια λόγω έλλειψης καναλιών. Με την εφαρμογή της τεχνικής το κινητό τερματικό δεν θα κλειδώσει στην προβληματική κυψέλη έστω και αν βρίσκεται πολύ κοντά της αφού στην ουσία δεν θα την βλέπει από τους γείτονες της. Έτσι δεν θα παρουσιαστεί κανένα πρόβλημα.



Σχήμα 13-4: Δυναμική μετατροπή του BCCH Frequency List

14 Μηχανισμός αποφυγής και πρόληψης συμφορήσης σε δίκτυα GSM/GPRS

14.1 Εισαγωγή

Όπως έχουμε αναφέρει και στο κεφάλαιο 11, στα δίκτυα κινητών επικοινωνιών δεύτερης γενιάς το κριτήριο για την επιλογή του σταθμού βάσης από το κινητό τερματικό MT γίνεται με κριτήριο της ισχύς του λαμβανόμενου σήματος RX Level.

Δηλαδή το MT επιλέγει ως εξυπηρετών σταθμό βάσης εκείνον ο οποίος στην συγκεκριμένη περιοχή έχει το ισχυρότερο RX Level σε σχέση με τους γειτονικούς τους σταθμούς βάσης, τους οποίους όμως γνωστοποιεί στο MT, έτσι ώστε αυτό να ακούει τα αντίστοιχα BCCH και να συγκρίνει τα RX Levels. Όταν το MT είναι σε idle κατάσταση τότε η επανεπιλογή κυψέλης (cell reselection) γίνεται βάση του παρακάτω κριτηρίου, που έχουμε δει αναλυτικά στο κεφάλαιο 11.

$$C1 = (RX - RxLevAm - MAX (MSTxPwr - MSMaxPwr, 0)),$$

Cell reselection criterion based on C2 (GSM Phase 2)

C2 cell reselection is calculated by equation:

$$C2 = C1 + cellReselectOffset - temporaryOffset * H(penaltyTime - T), \quad \text{when } penaltyTime \neq 640$$

$$C2 = C1 - cellReselectOffset, \quad \text{when } penaltyTime = 640$$

where $H(x) = 1$ when $x \geq 0$,

$H(x) = 0$ when $x < 0$,

$x = penaltyTime - T$

Όταν το MT έχει δημιουργήσει σύνδεση με μια κυψέλη τότε το κινητό στέλνει τα RX Level του κυρίαρχου (dominant) σταθμού βάσης καθώς και των γειτονικών κύψελων που υποδεικνύονται από το dominant cell, στο BSC το οποίο αποφασίζει για την διαπομπή (handover).

Όπως είναι φανερό ο βασικότερος αυτός μηχανισμός του cell reselection, βασίζεται μόνο στο κριτήριο της έντασης RX Level και στις offset παραμέτρους, που στο κεφαλαίο 9 δείξαμε πως μπορούν να χρησιμοποιηθούν δυναμικά έτσι ώστε να αντιμετωπιστούν συνθήκες συμφόρησης.

Αυτό που είναι γενική αλήθεια είναι ότι μέχρι τώρα όλοι οι μηχανισμοί που υπήρχαν (π.χ directed retry, FACCH call set-up) ή δημιουργήθηκαν για το GSM/GPRS, στα πλαίσια αυτής της διδακτορικής διατριβής για την αντιμετώπιση της δικτυακής συμφόρησης, αντιμετωπίζουν το πρόβλημα αφού έχει προκύψει.

Σε αυτό το κεφαλαίο θα περιγράψουμε έναν μηχανισμό που θα αποτρέπει την ανάπτυξη συμφόρησης σε ένα δίκτυο. Βέβαια αυτό δεν σημαίνει ότι εφαρμόζοντας αυτόν τον καινότομο μηχανισμό στα δίκτυα κινητών επικοινωνιών GSM/GPRS, δεν χρειαζόμαστε πλέον τις τεχνικές αντιμετώπισης της συμφόρησης.

14.2 Περιγραφή και υλοποίηση της μεθόδου στο GSM/GPRS

Όπως προαναφέραμε όλες οι γνωστές τεχνικές αποσυμφόρησης που γνωρίζουμε εφαρμόζονται αφού έχει προκύψει το πρόβλημα. Αυτό βέβαια δεν είναι επαρκές στις ημέρες μας που τα δίκτυα GSM/GPRS, έχουν να αντιμετωπίσουν ένα τεράστιο αριθμό απαιτητικών χρηστών. Τα σύγχρονα δίκτυα έχουν να αντιμετωπίσουν ένα πλήθος από νέες υπηρεσίες φωνής και μεταφοράς δεδομένων, πολλές από τις οποίες για να χρησιμοποιηθούν με επιτυχία χρειάζεται το δίκτυο να πληροί κριτήρια QoS. Άρα είναι επιτακτική η ανάγκη ενός μηχανισμού που θα αποφεύγει στο μέγιστο δυνατό βαθμό την έλλειψη τηλεπικοινωνιακών πόρων.

Το πρόβλημα της συμφόρησης σε ένα δίκτυο ξεκινά από τον μηχανισμό επανεπιλογής κυψέλης (cell reselection). Με τα τρέχον C2 cell reselection μηχανισμό η επιλογή ως serving cell γίνεται με μόνο κριτήριο το RX Level χωρίς να εξετάζεται αν αυτή η κυψέλη έχει επαρκείς δικτυακούς πόρους, έτσι ώστε να παρέχει κάποιες υπηρεσίες στο MT που την επέλεξε.

Ο νέος μηχανισμός αποφυγής συμφόρησης στα δίκτυα GSM/GPRS, βασίζεται στο μηχανισμό C2 αλλά εμπλουτισμένος με πληροφορίες για την τηλεπικοινωνιακή κίνηση του σταθμού που είναι υποψήφιος για επιλογή σαν εξυπηρετών.

Δηλαδή, θα δημιουργήσουμε ένα μηχανισμό επανεπιλογής κυψέλης που θα συνυπολογίζει ταυτόχρονα και RX Level και την τηλεπικοινωνιακή κίνηση των σταθμών προς επιλογή.

$$Criterion_{new} = Criterion_C2_{old} + Traffic_Status$$

Βέβαια αυτό απαιτεί από τους σταθμούς βάσης να κοινοποιούν προς τα κινητά τερματικά το ποσοστό των πόρων που έχουν διαθέσιμους. Επίσης θα πρέπει να ομαδοποιηθούν οι τύποι των πόρων που θα ανακοινώνονται προς τα κινητά τερματικά.

14.2.1 Ομαδοποίηση των τηλεπικοινωνιακών πόρων

Όπως γνωρίζουμε υπάρχουν 3 τύποι λογικών καναλιών στο GSM 900 και DCS 1800.

1. Τα κοινά κανάλια ελέγχου (Common Control Channel) CCCH, τα οποία είναι το Broadcast Control Channel BCCH, το κανάλι εντοπισμού-ειδοποίησης (Paging Channel) PCH, το κανάλι τυχαίας πρόσβασης (Random Access Channel) RACH και το κανάλι άμεσης εκχώρησης Access Grant Channel AGCH.
2. Η άλλη ομάδα καναλιών είναι τα κανάλια σηματοδότησης του συστήματος (Dedicated Channels) SDCCH, που θα μπορούσαμε να τα παρομοιάσουμε με το κανάλι D του ISDN.
3. Τέλος, έχουμε τα κανάλια κίνησης (Traffic Channels) TCH, τα οποία εξυπηρετούν υπηρεσίες μεταγωγής κυκλώματος και επίσης τα κανάλια PDTCHs που εξυπηρετούν τις υπηρεσίες μεταγωγής πακέτου GPRS.

Τώρα ανάλογα το είδος τις υπηρεσίας που παρέχεται χρησιμοποιούνται και διαφορετικές ομάδες καναλιών. Π.χ για την αποστολή ενός SMS έχουμε την εμπλοκή των καναλιών RACH, AGCH και SDCCH. Από την άλλη μια υπηρεσία μεταγωγής κυκλώματος εμπλέκει τα λογικά κανάλια RACH, AGCH, SDCCH και TCH. Η υπηρεσία μεταφοράς δεδομέ-

νων με μεταγωγή πακέτου GRPS χρησιμοποιεί την αλληλουχία καναλιών RACH, AGCH και PDTCH.

Όλες οι υπηρεσίες του δικτύου βασίζονται στις παραπάνω 3 αλληλουχίες καναλιών. Για αυτόν το λόγο δημιουργούμε 3 δείκτες-ομάδες καναλιών που θα δηλώνουν την διαθεσιμότητα επί τοις εκατό των τηλεπικοινωνιακών πόρων. Έτσι έχουμε τον δείκτη *CCCH availability*, ο οποίος συμπεριλαμβάνει τα κανάλια RACH, AGCH και SDCCH. Ο δεύτερος δείκτης είναι *TCH availability* ο οποίος καλύπτει τις υπηρεσίες μεταγωγής κυκλώματος και φωνής. Και τέλος ο τρίτος δείκτης που θα έχουμε είναι ο *PDTCH availability* για την υπηρεσία GPRS .

14.2.2 Μέθοδος ανακοινώσεις των δεικτών προς τα MT

Τώρα θα πρέπει να βρούμε ένα μέσο με το οποίο θα ανακοινώνουμε τους παραπάνω δείκτες στα κινητά τερματικά MT. Το GSM όπως γνωρίζουμε έχει το λογικό κανάλι BCCH, στο οποίο μεταδίδονται κρίσιμες πληροφορίες και στοιχεία της κυψέλης, όπως το κωδικό του δικτύου στο οποίο ανήκει η κυψέλη, το διακριτικό της κυψέλης, την λίστα με τις συχνότητες BCCH των γειτονικών κύψελων, συχνότητες των TRX κινήσεως και πολλά άλλα. Επίσης οι παράμετροι offset του C2 cell reselection κριτηρίου, όπως μεταδίδονται μέσω *cellReselectOffset*, *temporaryOffset* και *penaltyTime* , μέσω αυτών των μηνυμάτων και συγκεκριμένα στα *system information type 3 - SI 3 Rest Octets (GSM04.08)* καθώς επίσης στο *system information type 4 - SI 1 Rest Octets (GSM04.08)*, που χρησιμοποιούνται όταν το MT είναι σε κατάσταση αναμονής. Όλες αυτές οι πληροφορίες αποτελούν τα System Information του δικτύου.

Συγκεκριμένα τα BCCH / SYS_INFO 1– 4 [GSM 04.08] εκπέμπονται από το BCCH για λειτουργίες radio resource management. Η πληροφορία μεταδίδεται προς τα κινητά τερματικά κάθε 52 TDMA πλαίσια. Τα SI 6 και 7 χρησιμοποιούνται για τα κινητά που βρίσκονται σε κατάσταση κλήσης.

Εμείς θέλουμε να μεταδίδουμε την πληροφορία για την διαθεσιμότητα των καναλιών μέσω των δεικτών, σε κινητά που βρίσκονται σε κατάσταση αναμονής. Έτσι προτείνουμε να προσθέσουμε τους δείκτες στο περιεχόμενο των πληροφοριών System Information 3. Στο παρακάτω Πίνακα 14-1 και σύμφωνα με το GSM 04.08, παραθέτουμε την μορφή της πληροφορίας που μεταδίδεται.

Information element	Length (octets)
L2 Pseudo Length	1
RR management Protocol Discriminator	½
Skip Indicator	½
System Information Type 3 Message Type	1
Cell Identity	2
Location Area Location Identification	5
Control Channel Control Description	3
Cell Options	1
Cell Selection Cell Selection Parameters	2
RACH Control Parameters	3
SI 3 Rest Octets	4

Πίνακας 14-1: BCCH SYS Info 3

Για τις ανάγκες μας θα εξετάσουμε λεπτομερώς, τις 4 τελευταίες οκτάδες του SI3 Rest, διότι σε αυτό το πεδίο εμπεριέχονται και η παράμετροι του cell reselection offset. Πιο αναλυτικά έχουμε:

$$\begin{aligned} \langle SI3 \text{ Rest Octet} \rangle &:= \langle \text{Optional selection parameters} \rangle \\ &\quad \langle \text{Optional Power offset} \rangle \\ &\quad \langle \text{System Information 2ter Indicator} \rangle \\ &\quad \langle \text{Early Classmark Sending Control} \rangle \\ &\quad \langle \text{Scheduling if and where} \rangle \\ &\quad \langle \text{spare padding} \rangle ; \\ \langle \text{Optional Selection Parameters} \rangle &:= L | H \langle \text{Selection Parameters} \rangle ; \\ \langle \text{Selection Parameters} \rangle &::= \\ &\quad \langle \text{CBQ: bit (1)} \rangle \\ &\quad \langle \text{CELL_RESELECT_OFFSET: bit (6)} \rangle \\ &\quad \langle \text{TEMPORARY_OFFSET: bit (3)} \rangle \\ &\quad \langle \text{PENALTY_TIME: bit (5)} \rangle ; \\ \langle \text{Optional Power Offset} \rangle &:= L/H \langle \text{Power Offset: bit (2)} \rangle ; \\ \langle \text{System Information 2ter Indicator} \rangle &:= L | H ; \\ \langle \text{Early Classmark Sending Control} \rangle &:= L | H ; \\ \langle \text{Scheduling if and where} \rangle &:= L | H \langle \text{WHERE: bit (3)} \rangle ; \end{aligned}$$

Παρατηρούμε ότι τα SI 3 Rest information είναι 32 Bit από τα οποία μόνο τα 20 bit χρησιμοποιούνται. Δηλαδή έχουμε 12 ελεύθερα διαθέσιμα bit που μπορούμε να τα χρησιμοποιήσουμε για την μετάδοση των δεικτών διαθεσιμότητας κίνησης, όπως έχουμε προαναφέρει. Έτσι θα χρησιμοποιήσουμε 3 bit για *CCCH availability*, 3 bit για *TCH availability* και 3 bit για *PDTCH availability*. Επίσης θα χρησιμοποιήσουμε την κωδικοποίηση των τιμών του **Temporary offset**, που παίρνει τιμές από το 0 έως 70, με βήματα των 10 dB.

Έτσι έχουμε το νέο κριτήριο επανεπιλογής κυψέλης C4, που πρόκειται να παρέχει στο δίκτυο έναν μηχανισμό αποφυγής συμφόρησης, που περιγράφεται από την παρακάτω μαθηματική σχέση.

$$C4 = C1 + \text{cellReselectOffset} + 1.5 \cdot CCCH_{\text{availability}} + TCH_{\text{availability}} + GPRS_{\text{availability}}, \text{ if } C1 > 0$$

και

$$C4 = C1 + \text{cellReselectOffset}, \text{ if } C1 < 0$$

Όπου *CCCH_{availability}*, *TCH_{availability}*, *GPRS_{availability}* παίρνει τιμές από 0 – 70 με βήμα των 10dB αναλόγως της διαθεσιμότητας των πόρων.

Αν έχουμε 0 – 30 % χρήση των πόρων ενός συστήματος τότε η τιμή του availability είναι 70. Ομοίως αν έχουμε 40 % χρησιμοποίηση των πόρων, τότε το η τιμής της αντίστοιχης διαθεσιμότητας είναι 60.

Από την μαθηματική σχέση του C4 βλέπουμε ότι στο *CCCH_{availability}* έχουμε έναν συντελεστή 1.5, σαν βάρος σε σχέση με τους άλλους δείκτες κίνησης. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι όλες οι υπηρεσίες που παρέχονται από το GSM/GPRS χρησιμοποιούν πόρους από την ομάδα του CCCH.

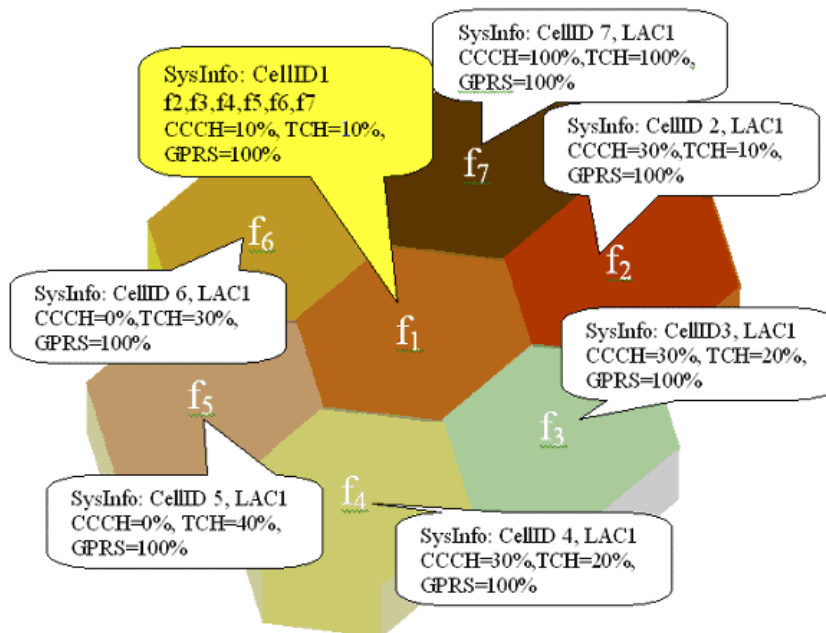
Κάτι άλλο που αξίζει να σημειωθεί είναι το ότι για $C1 < 0$, δηλαδή $RX < RxLevAm$, τότε $C4 = C1 + \text{cellReselectOffset}$, διότι σε τέτοιες συνθήκες δεν έχει κανένα νόημα να γνωρίζουμε ή να συνυπολογίζουμε την τηλεπικοινωνιακή κατάσταση ενός σταθμού βάσης, αφού δεν υπάρχει επαρκής ισχύς σήματος ώστε να εξυπηρετηθεί οποιαδήποτε υπηρεσία του GSM.

14.2.3 Παραδείγματα από την εφαρμογή του μηχανισμού

Για την καλύτερη κατανόηση του μηχανισμού και των αποτελεσμάτων που έχει στο δίκτυο, παραθέτουμε το παρακάτω παράδειγμα. Έτσι έχουμε την παρακάτω απλή τοπολογία GSM Σχήμα 14-2. Συγκεκριμένα στα Σχήματα 14-2 και 14-3 έχουμε ένα δίκτυο με βαθμό αναχρησιμοποίησης συχνότητας $\kappa=7$ και με την χρησιμοποίηση πανκατευθυντικών κεραιών. Θεωρούμε ένα τυχαίο κινητό τερματικό (λευκός αστερίσκος), οποίος στο σημείο που βρίσκεται εξυπηρετείται από τον σταθμό βάσης με συχνότητα f_1 και Cellid 1. Σύμφωνα με το Σχήμα 14-2 για το MT έχουμε τα C_2 για το serving και τα adjacent cells (σε αυτό το παράδειγμα δεν χρησιμοποιούνται οι offset παράμετροι και $C_2 = C_1$).

$$C_{2_1} = 40, C_{2_2} = 30, C_{2_3} = 20, C_{2_4} = 10, C_{2_5} = 10, C_{2_6} = 12, C_{2_7} = 15$$

Έτσι έχουμε ότι το cell με Id1 είναι το κυρίαρχο στην περιοχή του MT, δεύτερο υποψήφιο γειτονικό cell με Id2 με διαφορά στο RX level 10 dB. Παρατηρούμε ότι το cell με Id1, έχει 10% $CCCH_{availability}$ και 30% $TCH_{availability}$. Δηλαδή το MT θα έχει εξαιρετικά μικρή πιθανότητα να διεκπεραιώσει κάποια υπηρεσία από το cell με Id1. Επίσης σε αυτό το σενάριο ούτε ο μηχανισμός directed retry του GSM, μπορεί να αποδώσει, διότι δεν υπάρχουν διαθέσιμοι CCCH πόροι και συγκεκριμένα SDCCH, έτσι ώστε να έχουμε περαιτέρω εξέλιξη του directed retry. Αλλά και αν είχαμε διαθεσιμότητα στο SDCCH στο cell Id1, το MT θα επιχειρούσε να πάρει κανάλι κίνησης από το δεύτερο γειτονικό cell με Id2 που και αυτό δεν έχει μεγάλη $TCH_{availability}$ (10%), όποτε και πάλι θα είχαμε μεγάλη πιθανότητα για αποτυχημένη προσπάθεια εξυπηρέτησης μιας υπηρεσίας.



Σχήμα 14-2: Νέο SYS_Info Broadcasting

Τώρα, εφαρμόζοντας τον νέο μηχανισμό αποφυγής συμφόρησης, με την εκπομπή της τηλεπικοινωνιακής από κάθε σταθμό βάσης και σύμφωνα με το Σχήμα 14-2, έχουμε την νέα κατάταξη σύμφωνα με το C_4 στο υπό μελέτη MT.

$$C4_7 = C1_7 + CellReselOffset + 1.5 \cdot CCCH_7 + TCH_7 + GPRS_7 = 260$$

$$C4_2 = C1_2 + CellReselOffset + 1.5 \cdot CCCH_2 + TCH_2 + GPRS_2 = 155$$

$$C4_3 = C1_3 + CellReselOffset + 1.5 \cdot CCCH_3 + TCH_3 + GPRS_3 = 155$$

$$C4_4 = C1_4 + CellReselOffset + 1.5 \cdot CCCH_4 + TCH_4 + GPRS_4 = 145$$

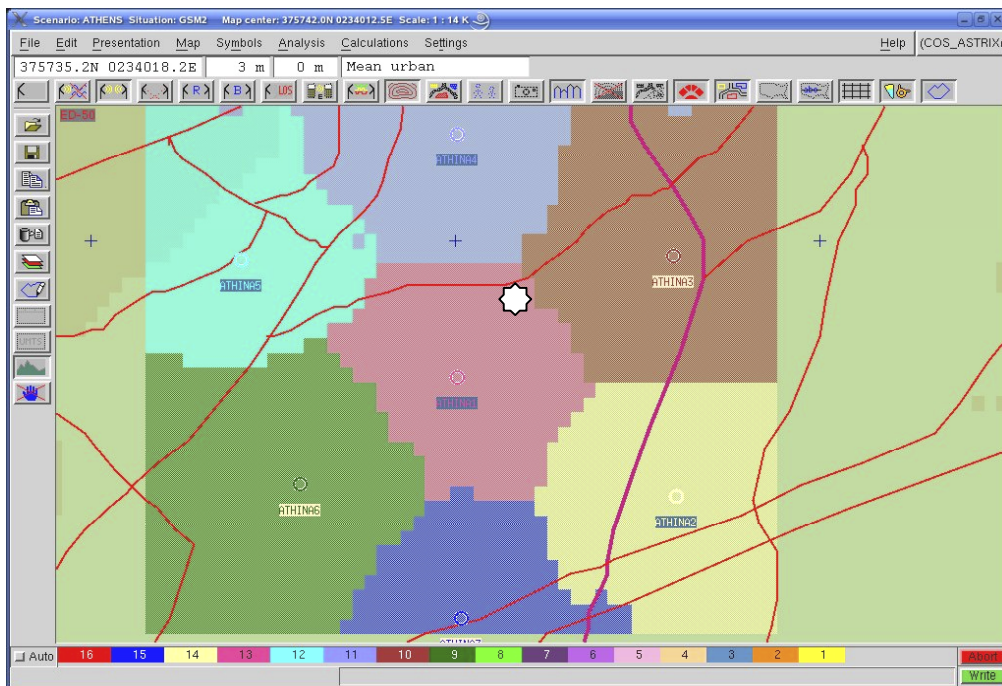
$$C4_1 = C1_1 + CellReselOffset + 1.5 \cdot CCCH_{a1} + TCH_1 + GPRS_1 = 135$$

$$C4_5 = C1_5 + CellReselOffset + 1.5 \cdot CCCH_5 + TCH_5 + GPRS_5 = 120$$

$$C4_6 = C1_6 + CellReselOffset + 1.5 \cdot CCCH_6 + TCH_6 + GPRS_6 = 112$$

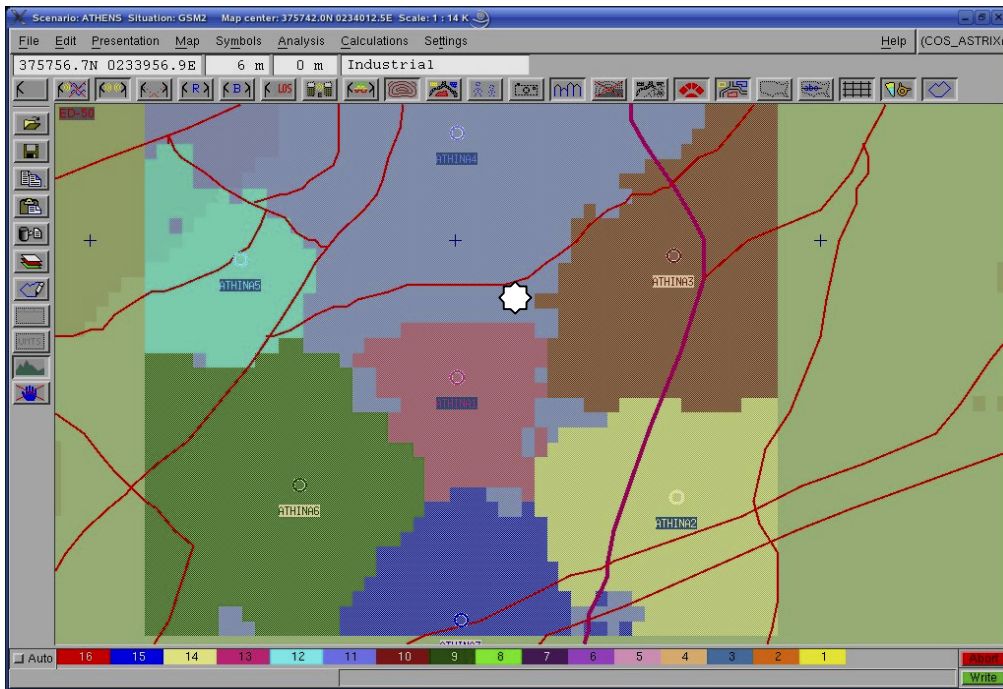
Έτσι τώρα έχουμε σαν serving cell το Id7, το οποίο σύμφωνα με το C4 είναι το cell που έχει επαρκές RX level ώστε να μεταφέρει μια υπηρεσία, αλλά και την μεγαλύτερη διαθεσιμότητα διαύλων. Έτσι είναι προφανές ότι με την εφαρμογή του μηχανισμού αποφυγής συμφόρησης με την εισαγωγή του C4, η πιθανότητα να έχουμε αποτυχημένη προσπάθεια για απόκτηση μιας υπηρεσίας είναι ελαχιστοποιημένη. Έτσι τώρα η εταιρία μπορεί να παρέχει τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες με QoS.

Προκείμενου τώρα να δούμε την επίδραση της τεχνικής στη ραδιοκάλυψη, καθώς και στις περιοχές κυριαρχίας του δικτύου, κάνουμε μια προσομοίωση με την βοήθεια του Astrix Σχήμα 14-3 και 14-4, για τις περιοχές κυριαρχίας πριν και μετά την εφαρμογή του καινούριου μηχανισμού.



Σχήμα 14-3: Περιοχές κυριαρχίας GSM με C2

Με την χρησιμοποίηση του C4 και των νέων εμπλουτισμένων SYS_INFO έχουμε την παρακάτω εικόνα στις περιοχές κυριαρχίας. Παρατηρούμε πλέον ότι με το C4 έχουμε δυναμικές περιοχές κυριαρχίας που η έκτασή τους μεταβάλλεται σύμφωνα με το φορτίο κάθε κυψέλης. Έτσι όσο μεγαλύτερο το τηλεπικοινωνιακό φορτίο μιας κυψέλης, τόσο πιο πολύ συρρικνώνεται η περιοχή κυριαρχίας, με την προϋπόθεση ότι τα γειτονικά cell έχουν χαμηλότερο τηλεπικοινωνιακό φορτίο.



Σχήμα 14-4: Περιοχές κυριαρχίας GSM με C4

Στο παράδειγμα μας βλέπουμε την συρρίκνωση (cell breathing) της περιοχής κυριαρχίας της κυψέλης με Id1 και αντιθέτως την εξάπλωση της περιοχής κυριαρχίας της περιοχής του cell με Id7. Οπότε καταφέρνουμε να επιτύχουμε ομοιόμορφη κατανομή των χρηστών στο δίκτυο.

14.2.4 Εφαρμογή σε πραγματικό GSM δίκτυο και υπολογισμός των δεικτών διαθεσιμότητας

Το πλεονέκτημα αυτού του μηχανισμού είναι ότι μόνο που χρειάζεται για να εφαρμοστεί, είναι η τροποποίηση του SYS_INFO του BCCH και η αλλαγή στο firmware των κινητών τερματικών έτσι ώστε να συνυπολογίζουν τους νέους δείκτες από το SYS_INFO στο C4. Επίσης θα πρέπει να υλοποιηθεί ένα μια λειτουργία στο BSC που να υπολογίζει τους 3 στατιστικούς δείκτες κάθε σταθμού βάσης. Ένα πλεονέκτημα του νέου μηχανισμού είναι ότι μετά την εφαρμογή σε ένα δίκτυο, οι συσκευές που δεν θα υποστηρίζουν το C4 θα συνεχίσουν να συνεργάζονται με το δίκτυο όπως παλιά, χωρίς βέβαια να έχουν βελτιωμένο QoS. Παρακάτω, περιγράφουμε τους μαθηματικούς τύπους, με τους οποίους υπολογίζονται οι τρεις δείκτες KPIs διαθεσιμότητας του δικτύου.

Συγκεκριμένα, έχουμε τους παρακάτω μαθηματικούς τύπους

$$CCCH_{availability} = 100 - 100 \cdot \frac{RACH_{occ} + AGCH_{occ} + SDCCH_{occ}}{CCCH_TSlot_{max}}$$

$$TCH_TSlot_{occ} = TCH_TSlot_{reserved} + TCH_TimeSlot_{used}$$

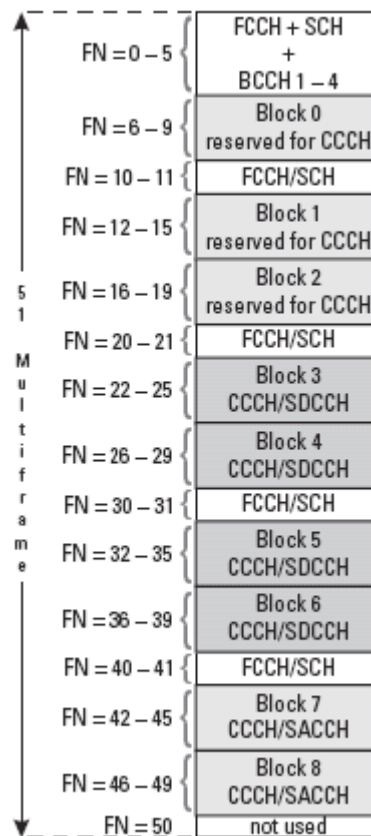
$$TCH_{availability} = 100 - 100 \cdot \frac{TCH_TSlot_{occ}}{TimeSlot_{max}}$$

$$GPRS_{availability} = \frac{\text{Actual UL data throughput (blocks)}}{\text{max. nbr of blocks during measurement period}} + \frac{\text{Actual DL data throughput (blocks)}}{\text{max. nbr of blocks in 1 time slot during measurement period}}$$

15 Χρησιμοποίηση πολλαπλών BCCH TRXs

Ένα από τα πιο σοβαρά προβλήματα των δικτύων GSM/GPRS είναι η συμφόρηση των καναλιών ελέγχου κοινής πρόσβασης CCCH (Common Control Channels). Έτσι οι υπό-διάυλοι που έχουν κυρίως πρόβλημα είναι τα κανάλια αναζήτησης PCH (Paging Channels), τα κοινά κανάλια τυχαίας πρόσβασης RACH (Random Access Channels) και τα κανάλια εκχώρησης πρόσβασης AGCH (Access Grant Channel).

Μια κανονική broadcast χρονοσχιμή περιέχει 7 blocks CCCHs Σχήμα 15-1. Συνήθως οι διαχειριστές του δικτύου δίνουν 6 PCH και 1 AGCH ή άλλους συνδυασμούς αναλόγως την συμπεριφορά του σταθμού βάσης και της κίνησης που εξυπηρετεί.



Σχήμα 15-1: Downlink Broadcast χρονοσχιμή

Όπως είναι έτσι μπορούμε να έχουμε διάφορους συνδυασμούς Σχήμα 15-2:

FN	TS 0	FN	TS 0
0	FCCH	0	FCCH
1	SCH	1	SCH
2	BCCH 1	2	BCCH 1
3	BCCH 2	3	BCCH 2
4	BCCH 3	4	BCCH 3
5	BCCH 4	5	BCCH 4
6	AGCH/PCH	6	AGCH/PCH
7	AGCH/PCH	7	AGCH/PCH
8	AGCH/PCH	8	AGCH/PCH
9	AGCH/PCH	9	AGCH/PCH
10	FCCH	10	FCCH
11	SCH	11	SCH
12	AGCH/PCH	12	AGCH/PCH
13	AGCH/PCH	13	AGCH/PCH
14	AGCH/PCH	14	AGCH/PCH
15	AGCH/PCH	15	AGCH/PCH
16	AGCH/PCH	16	AGCH/PCH
17	AGCH/PCH	17	AGCH/PCH
18	AGCH/PCH	18	AGCH/PCH
19	AGCH/PCH	19	AGCH/PCH
20	FCCH	20	FCCH
21	SCH	21	SCH
22	SDCCH 0	22	AGCH/PCH
23	SDCCH 0	23	AGCH/PCH
24	SDCCH 0	24	AGCH/PCH
25	SDCCH 0	25	AGCH/PCH
26	SDCCH 1	26	AGCH/PCH
27	SDCCH 1	27	AGCH/PCH
28	SDCCH 1	28	AGCH/PCH
29	SDCCH 1	29	AGCH/PCH
30	FCCH	30	FCCH
31	SCH	31	SCH
32	CBCH	32	CBCH
33	CBCH	33	CBCH
34	CBCH	34	CBCH
35	CBCH	35	CBCH
36	SDCCH 3	36	AGCH/PCH
37	SDCCH 3	37	AGCH/PCH
38	SDCCH 3	38	AGCH/PCH
39	SDCCH 3	39	AGCH/PCH
40	FCCH	40	FCCH
41	SCH	41	SCH
42	SACCH 0	42	AGCH/PCH
43	SACCH 0	43	AGCH/PCH
44	SACCH 0	44	AGCH/PCH
45	SACCH 0	45	AGCH/PCH
46	SACCH 1	46	AGCH/PCH
47	SACCH 1	47	AGCH/PCH
48	SACCH 1	48	AGCH/PCH
49	SACCH 1	49	AGCH/PCH
50		50	

Σχήμα 15-2: Συνδυασμένη (Combined) και κανονική κατανομή CCCH

Όπως θα δούμε η χρήση της υπηρεσίας GPRS έχει μεγάλη απαίτηση σε κανάλια εκχώρησης πρόσβασης AGCH. Έτσι η συνδυασμένη κατανομή καναλιών χρησιμοποιείται είτε σε δίκτυα που δεν υποστηρίζουν GPRS, είτε σε micro BTS με 1 μόνο TRX.

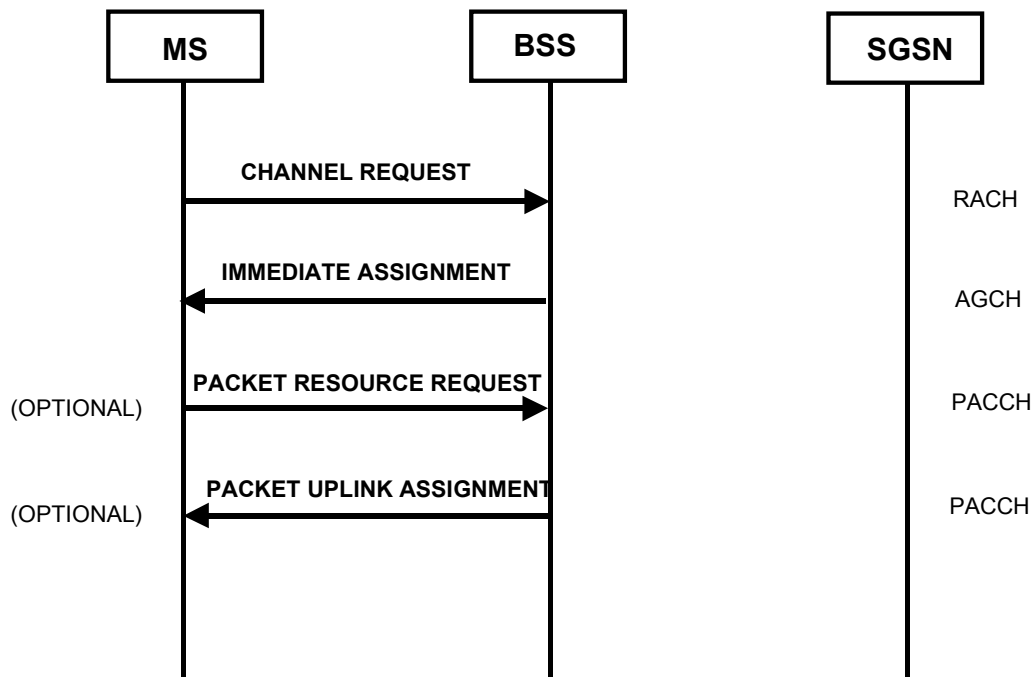
Σχετικά με την χρησιμοποίηση των πόρων AGCH από την υπηρεσία GPRS, μετρήσεις έχουν δείξει ότι μια σύνδεση με ένα κινητό τερματικό MT μπορεί να δημιουργήσει utilization ίσο με 109 % στα AGCH. Αυτό όπως είναι φυσικό δημιουργεί μεγάλο πρόβλημα και στις άλλες υπηρεσίες του GSM. Διότι μπορεί να έχουμε ελεύθερα κανάλια κίνησης TCHs αλλά λόγω της συμφόρησης στα AGCH δεν είναι δυνατή η ανάθεση τους σε χρήστες του δικτύου. Δυστυχώς η εμπειρία έχει δείξει ότι αυτό είναι συχνό φαινόμενο στα δίκτυα GSM. Αν και έχουν οριστεί για μελλοντική χρήση ειδικά αφιερωμένα dedicated κανάλια CCCH, για την υπηρεσία GPRS αλλά δεν έχουν εφαρμοστεί ακόμα στα δίκτυα.

Η παρακάτω τεχνική έχει ως σκοπό να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα της εξάντλησης των CCCH πόρων, με αύξηση της συνολικής χωρητικότητας τους.

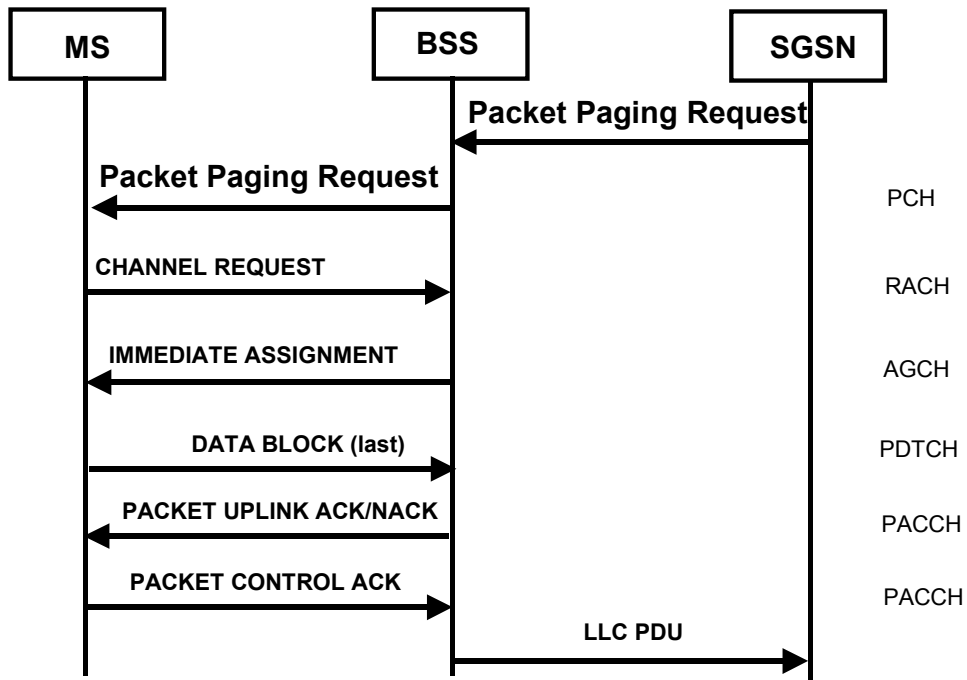
15.1 Περιγραφή προβλήματος εξάντλησης των CCCH από το GPRS

Για να γίνει πιο κατανοητό το πρόβλημα της εξάντλησης των CCCH από την υπηρεσία GPRS, θα περιγράψουμε με λεπτομέρεια όλοι την διαδικασία “χειραψίας” handshake μεταξύ MT και BTS. Στο κατεύθυνση downlink ο σταθμός βάσης χρησιμοποιεί το κανάλι αναζήτησης PCH και κανάλι εκχώρησης AGCH έτσι ώστε να παρέχει στο MT πληροφορίες σχετικά με την ανάθεση καναλιών κίνησης. Στην κατεύθυνση uplink το MT στέλνει στο τυχαίο κανάλι κοινής πρόσβασης RACH του BTS πληροφορία σχετικά για την υπηρεσία που αιτείται και τι υποστηρίζει το MT σαν hardware (MT power class, multislot class, κλπ)

Στα παρακάτω Σχήματα 15-3 και 15-4 μπορούμε να δούμε τον μηχανισμό και την αλληλουχία ανάθεσης των καναλιών που χρησιμοποιούνται, στην Uplink και Downlink κατεύθυνση αντίστοιχα.



Σχήμα 15-3: Packet Data Transfer: Uplink Initiated



Σχήμα 15-4: Packet Data Transfer: Down Link Initiated

Όπως παρατηρούμε ότι και στις δυο περιπτώσεις uplink and downlink initiated μεταφορά δεδομένων, έχουμε εκτεταμένη χρήση των RACH και AGCH. Έτσι το φορτίο γενικά σε αυτά τα κανάλια, εξαρτάται από την υπηρεσία που θα εξυπηρετήσει το GPRS δίκτυο. Π.χ η αποστολή-λήψη ενός email ή η πλοήγηση στο WWW, δημιουργούν ένα μεγάλο αριθμό αναθέσεων και κρατήσεων CCCH διαύλων, αυξάνοντας σημαντικά την πιθανότητα να έχουμε αποτυχημένες προσπάθειες κλήσεων φωνής, όχι επειδή δεν υπάρχουν διαθέσιμα κανάλια φωνής αλλά επειδή δεν υπάρχουν διαθέσιμα CCCH για να γίνει η ανάθεση τους.

Επιπλέον έχουμε και τις άλλες διαδικασίες του GPRS που επιφορτίζουν τα CCCH, όπως διαδικασίες διαχείρισης της κινητικότητας (mobility management procedures) του χρήστη και reselection σταθμού βάσης. Έτσι έχουμε την διαδικασία GPRS attach – detach, routing area update κλπ.

Στον παρακάτω Πίνακα 15-1 αναφέρονται πόσες αναθέσεις πόρων RACH και AGCH χρειάζονται για κάθε λειτουργική διαδικασία

Function	RACH	AGCH
GPRS Attach (No Authentication)	2	3
GPRS Attach (Authentication)	2	5
GPRS Detach (MO)	1	2
PDP Context Activation (MO)	1	2
PAGING	1	2
CELL UPDATE	1	1
ROUTING AREA UPDATE	1	2

Πίνακας 15-1: Αριθμός αναθέσεων RACH και AGCH για τις βασικές λειτουργίες του GPRS

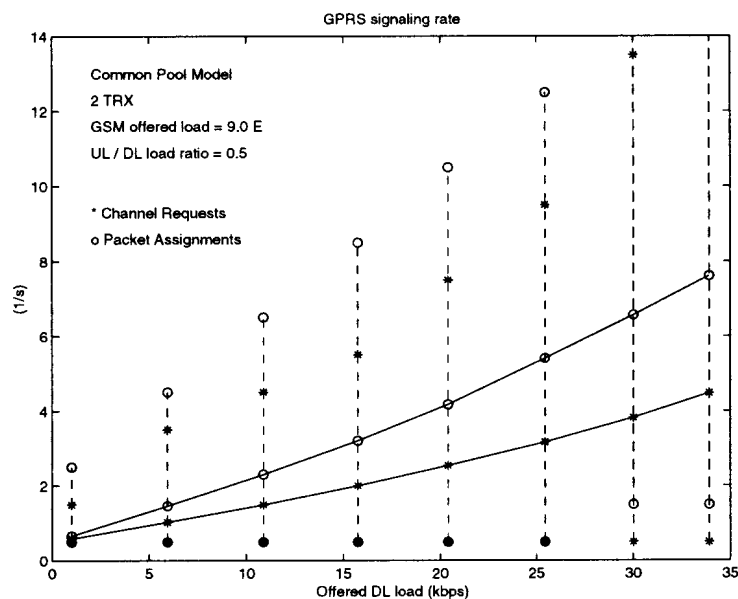
Στο επόμενο Πίνακα 15-2 δίνονται αποτελέσματα σχετικά με τον ρυθμό αιτήσεων και αναθέσεων καναλιών ανά δευτερόλεπτο από προσομοιώσεις σε μια κυψέλη που χρησιμοποιούσε 2 TRXs και με χαρτογράφηση καναλιών όπως το Σχήμα 15-2. Θεωρούμε ότι έχουμε 50% χρήση uplink και 50% χρήση downlink κίνησης. Έτσι μπορούμε να εξομοιώσουμε με πολύ καλή προσέγγιση ένα χρήστη που χρησιμοποιεί τις υπηρεσίες email και WWW.

Carried Traffic (Kbps)	Channel Requests (/s)	Packet Assignments (/s)
7	1.4	1.5
11	1.6	2.1
15	1.8	2.8
22	2.7	4.2
28	3.3	5.6
32	4.2	6.1
37	4.4	7.8
40	4.8	8
44	5.1	8.2

Πίνακας 15-2: Ρυθμός Αιτήσεων - αναθέσεων καναλιών για υπηρεσίες email και WWW browsing

15.2 Χωρητικότητα σε κανάλια αναζήτηση PCH και εκχώρησης AGCH

Η χωρητικότητα σε κανάλια σηματοδοσίας ενός δίκτυο GSM, εξαρτάται κυρίως από τον χωρητικότητα των καναλιών αναζήτησης PCH και αποκλειστικής σηματοδοσίας SDCCH. Η χρήση όμως του GPRS ελαττώνει σημαντικά αυτήν την χωρητικότητα. Στο παρακάτω Διάγραμμα 15-1, μπορούμε να δούμε την αύξηση στις αιτήσεις για RACH και AGCH, καθώς αυξάνεται η προσφερόμενη κίνηση GPRS. Και σε αυτή την προσομοίωση έχουμε λάβει υπόψιν 50% - 50% uplink και downlink.



Διάγραμμα 15-1: GPRS Signalling Rate vs Offered DL load

15.3 Παραδείγματα υπολογισμού χωρητικότητας σε PCH/ AGCH

Είναι δυνατό να υπολογίσουμε την διαθέσιμη χωρητικότητα των καναλιών RACH για χρήστες μεταγωγής κυκλώματος όπως φωνής κτλπ, σε συνάρτηση με το χρησιμοποιούμενο throughput στο GPRS. Στους παρακάτω Πίνακες 15-3 και 15-4 έχουμε τα αποτελέσματα για τα κανάλια RACH και AGCH.

Offered GPRS Traffic	GPRS Load (sec)	RACH Utilisation	Available for Speech
5 Kbits	1.2	1%	99%
20 Kbits	2.5	2%	98%
35 Kbits	4.4	4%	96%

Πίνακας 15-3 : RACH φορτίο σε επί % ποσοστό

Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι δεν υπάρχει ανάγκη για επιπλέον κανάλια RACH ή υιοθέτηση αποκλειστικών RACH για το GPRS.

Offered GPRS Traffic	GPRS Load (sec)	AGCH Utilisation	Available for Speech
7 Kbits	1.7	37%	63%
23 Kbits	4.5	58%	42%
33 Kbits	7.9	105%	-5%
44 Kbits	8.3	110%	-10%

Πίνακας 15-4: AGCH φορτίο

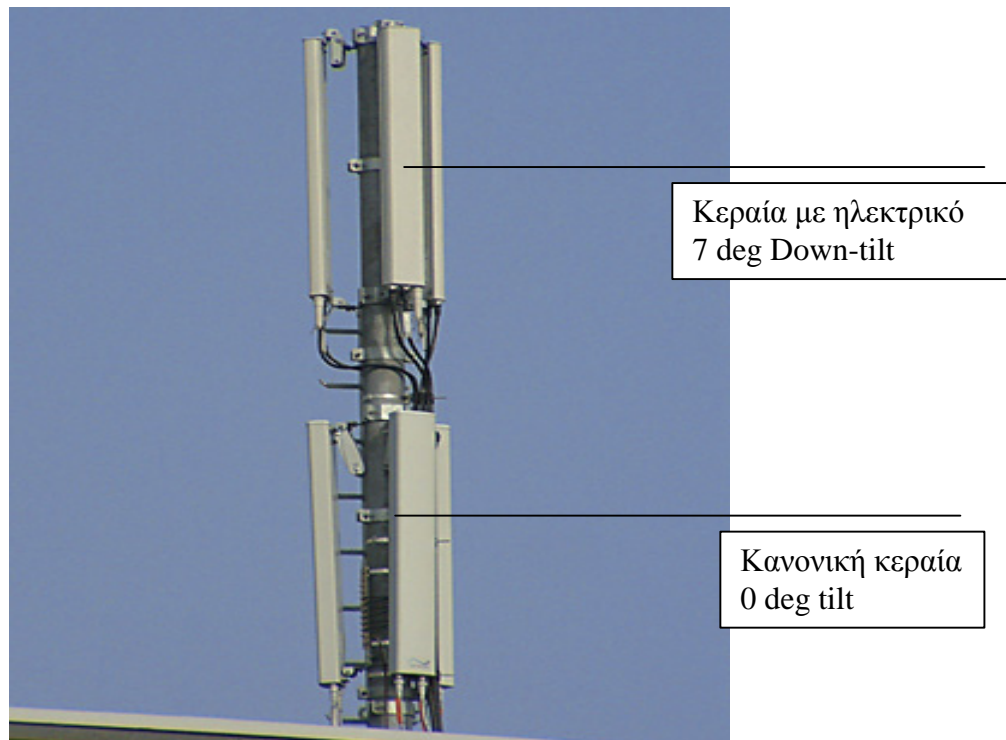
Αντιθέτως βλέπουμε ότι για ρυθμούς GPRS πάνω από 30 kbps έχουμε πλήρη εξάντληση των πόρων AGCH. Εδώ θα πρέπει η να δώσουμε περισσότερα AGCH και λιγότερα PCH ή να δοθούν αποκλειστικά AGCH για GPRS χρήση. Το πρώτο θα δημιουργήσει συμφόρηση στα PCH, αυξάνοντας την πιθανότητα να έχουμε αποτυχημένες αναζητήσεις σε mobile terminating calls και υιοθετήσει, αποτελεί μελλοντικό σχέδιο των παρόχων GPRS.

15.4 Περιγραφή της τεχνικής

Προκείμενου να αντιμετωπίσουμε το παραπάνω πρόβλημα, μπορούμε να εφαρμόσουμε μια τεχνική η οποία μπορεί να δώσει λύση στην χωρητικότητα των AGCH καναλιών χωρίς την δημιουργία προβλημάτων συμβατότητας.

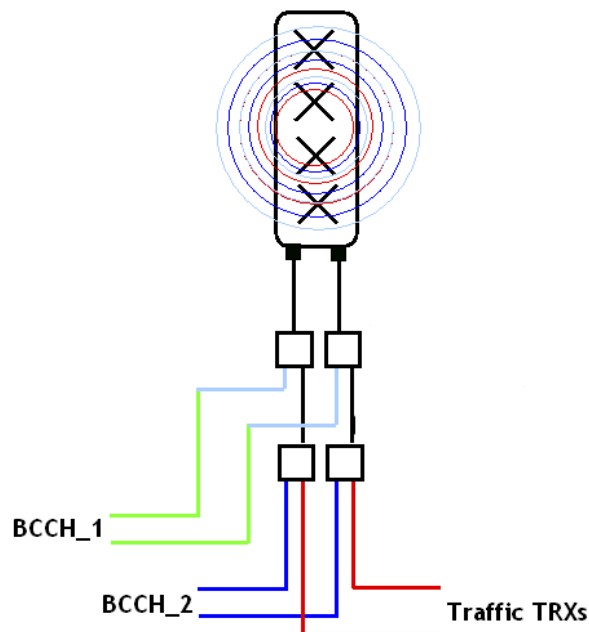
Η χρήση πολλαπλών BCCH TRX δίνει το πλεονέκτημα ότι μπορούμε σε ένα cell να έχουμε παραπάνω από ένα BCCH κανάλια. Όπως έχουμε δει παραπάνω, τα BCCH περιέχουν και τα AGCH. Το πρόβλημα όμως που γεννάται είναι, πως οι χρήστες θα κατανέμονται μεταξύ των δυο BCCH TRX σε μια κυψέλη. Μια μέθοδος θα ήταν να μπουν κεραιές με διαφορετική κλίση (tilt) στα BCCH . Έτσι θα μπορούσαμε να έχουμε ένα χωρικό διαχωρισμό. Οι χρήστες που θα βρίσκονταν κοντά στην κυψέλη θα χρησιμοποίησαν το BCCH που θα είχε κεραιά με μεγαλύτερη προς τα κάτω κλίση (down-tilt). Αυτό όμως δημιουργεί πολλά προβλήματα: (i) Ανεβάζει το κόστος του σταθμού βάσης. (ii) ο χώρος στους σύγχρονους «καλαίσθητους» ιστούς είναι αρκετά περιορισμένος. Έτσι είναι σχεδόν αδύνατο να γίνει επέμβαση στον ιστό (iii) Η χρησιμοποιήσει διαφορετικών κεραιών καθιστά δύ-

σκολο να έχουμε κοινά TRX και στα δυο BCCH. Οι χρήστες που θα βρίσκονταν σε περιοχή που το tilt δεν είναι βέλτιστο θα είχαν αυξημένη πιθανότητα drop call, λόγω χαμηλού σήματος. Επίσης το κόστος για επιπλέον φίλτρα, ομοαξονικά, combiner και διπλέχτες (duplexers) είναι σημαντικό.



Σχήμα 15-5: Τοποθέτηση διπλών κεραιών με διαφορετικό tilt

Με την τεχνική που προτείνεται μπορούμε να έχουμε δυο ή περισσότερα BCCH TRX σε μια κεραία. Επίσης τα δυο BCCH θα έχουν κοινά TRXs κίνησης. Στο παρακάτω Σχήμα 15-6 δείχνουμε την τοπολογία των BCCH TRXs σε μια κεραία με τους combiner.



Σχήμα 15-6: Τοπολογία δυο BCCH σε μια κεραία μαζί με τα TRX κίνησης

Το ερώτημα που προκύπτει είναι, πώς σε μια τέτοια τοπολογία θα καταφέρουμε να κλειδώνουν οι χρήστες στα διαφορετικά BCCH; Αυτό θα το επιτύχουμε με τις offset παραμέτρους του C2 cell reselection μηχανισμού και το RxLevAm .

$$C1 = (RX - RxLevAm - \text{MAX}(MSTxPwr - MSMaxPwr, 0))$$

όπου,

RX: Η ένταση του σήματος που λαμβάνει το MT από το FCCH (light house) σε dBm
 RxLevAm (**Rx Level Access minimum**), δηλαδή η παράμετρος που καθορίζει την RF ευαισθησία του δεκτή που χρησιμοποιεί ο σταθμός βάσης. Το τερματικό δεν προσπαθεί να κάνει πρόσβαση αν το RX Level που λαμβάνει από το BCCH είναι μικρότερο από το RxLevAm.

$$C2 = C1 + \text{Cell reselect offset} - \text{Temporary offset} * H(\text{Penalty time} - T)$$

με penaltyTime \neq 640

$$C2 = C1 - \text{Cell reselect offset}$$

με penaltyTime = 640

όπου $H(x) = 1$ όταν $x \geq 0$ και $H(x) = 0$ όταν $x < 0$

Πιο αναλυτικά έχουμε:

BCCH_1	BCCH_2
RxLevAm= -98 dBm Cell reselect offset = 16 dB	RxLevAm= -106 dBm Cell reselect offset = 0 dB

Δηλαδή το BCCH_2 χρησιμοποιεί τις συμβατικές τιμές που χρησιμοποιούν οι κυψέλες αυτής της τάξης και μεγέθους.

Οι παραπάνω ρυθμίσεις θα έχουν ως αποτέλεσμα οι χρήστες που βρίσκονται στο ήμισυ της κανονικής περιοχής κυριαρχίας περίπου, θα εξυπηρετούνται από το BCCH_1. Οι χρήστες που βρίσκονται πιο μακριά θα χρησιμοποιούν το BCCH_2.

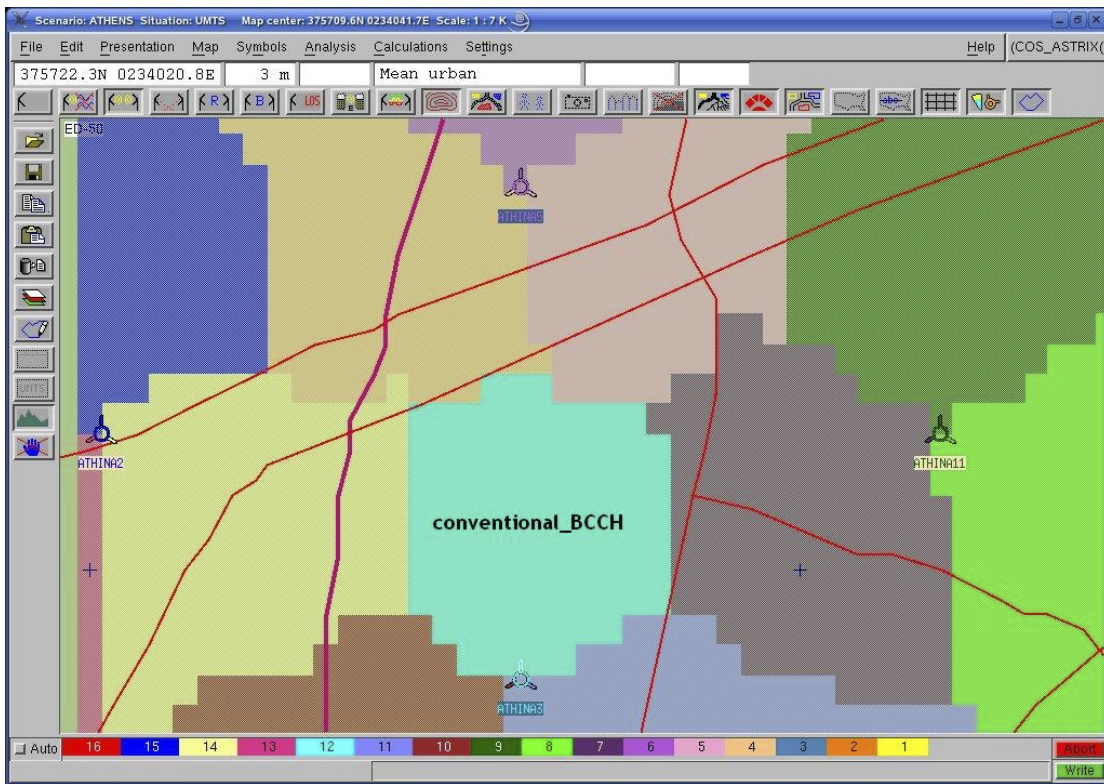
Αυτό γίνεται διότι ναι μεν στο BCCH_1 έχουμε 8 dB υψηλότερο RxLevAm, έχουμε όμως 16 dB υψηλότερο Cell reselect offset. Έτσι το BCCH_1 υπερτερεί κατά 8 dB στις περιοχές που το RxLevAm < -94 dBm. Όταν πλέον το RxLevAm > -94 dBm δεν επιτρέπεται εν γένει η πρόσβαση στο BCCH_1 λόγω RxLevAm και εξυπηρετούνται από το BCCH_2.

Οι παραπάνω τιμές προϋποθέτουν ότι και τα δυο BCCH εκπέμπουν στο αέρα με την ίδια RF ισχύ. Αυτό όμως δεν είναι αναγκαίο για το BCCH_1 το οποίο δεν χρειάζεται να καλύψει μεγαλύτερες αποστάσεις. Επίσης όπως γνωρίζουμε η ανάθεση συχνοτήτων σε BCCH TRX είναι η πιο προσεκτική και η πιο αραιή για το λόγο ότι δεν θέλουμε ομοδιαυλικές παρεμβολές στο κύριο κανάλι ελέγχου ενός σταθμού. Έτσι στο BCCH_1 θα απονέμομαι συχνότητες από τις κανονικές και όχι από τις επιλεγμένες «καθαρές». Διότι δεν πρόκειται να εξυπηρετήσει χρήστες στα πραγματικά όρια της κυψέλης στα οποία έχουμε γενικά χαμηλό C/I. Επίσης η ισχύς εκπομπής μπορεί να οριστεί 6 dB χαμηλότερα από την κανονική τιμή που χρησιμοποιεί και το BCCH_2.

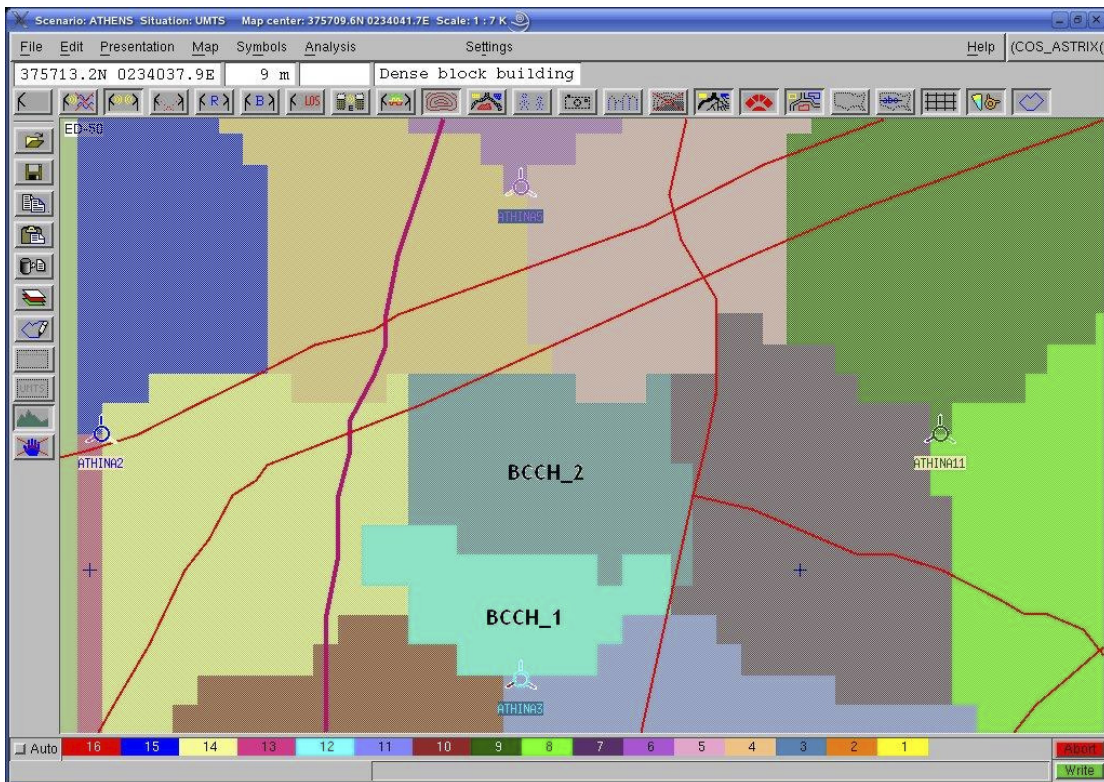
Έτσι έχουμε:

BCCH_1	BCCH_2
TXPower= 31 dBm RxLevAm= -98 dBm Cell reselect offset = 22 dB	TXPower= 39 dBm RxLevAm= -106 dBm Cell reselect offset = 0 dB

Με την βοήθεια του Astrix κάνουμε προσομοίωσης ενός τέτοιου σεναρίου. Αρχικά έχουμε μια κάτοψη περιοχών κυριαρχίας με συμβατικό BCCH Σχήμα 15-7. Έπειτα τοποθετούμε στο Cell “ATHINA 3” ένα δεύτερο BCCH. Στο Σχήμα 15-8 φαίνονται οι περιοχές που καλύπτουν τα δυο BCCH.



Σχήμα 15-7: Συμβατική χρήση ενός BCCH



Σχήμα 15-8: Χρήση δυο BCCH στο cell ATHINA 3

Εδώ θα πρέπει να τονίσουμε ότι στο σύστημα το TRX με BCCH_1, θα φαίνεται σαν μια ξεχωριστή κυψέλη με δικό της cell_id, δικό της πίνακα γειτονικών σταθμών κλπ. από αυτό του BCCH_2. Επίσης, για τους χρήστες που βρίσκονται στην περιοχή του BCCH_1, θα γίνεται αρχικά με προτεραιότητα ανάθεση σε TCH του BCCH_2 με την διαδικασία directed retry. Έτσι δεν θα έχουμε πρόβλημα στα κανάλια GPRS του BCCH_1 και αυτό διότι στο GPRS δεν έχουμε κάποια δυνατότητα σαν αυτή που έχουν οι χρήστες CS (Circuit Switch) με το directed retry.

15.5 Επηρεασμός άλλων στοιχείων του δικτύου

Η εφαρμογή αυτής της αρχιτεκτονικής δικτύου δεν έχει επιπτώσεις στο δίκτυο. Ειδικά αν εφαρμόσουμε την ρύθμιση να έχουμε χαμηλότερη RF ισχύ στο δεύτερο BCCH, τότε εξασφαλίζουμε ότι δεν θα έχουμε παρεμβολές. Όπως προαναφέραμε οι συχνότητες που ανατίθενται σε BCCH TRXs, αναχρησιμοποιούνται πιο αραιά.

15.6 Παράμετροι

Η παράμετροι αυτής της τεχνικής είναι οι παρακάτω:

BCCH_

TXPower σε dBm

RxLevAm σε dBm

Cell reselect offset σε dB

Ο διαχειριστής του δικτύου με την βοήθεια του radio planning tool, μπορεί να καθορίσει τις τιμές βασισόμενος στο ράδιο-περιβάλλον και τον τύπο της κυψέλης.

15.7 Περιορισμοί

Θεωρητικά δεν υπάρχουν περιορισμοί στην εφαρμογή αυτής της τεχνικής. Πρακτικά όμως η αίτηση για εφαρμογή δυο ή περισσότερων BCCH γίνεται σε κυψέλες που έχουν περιοχή κυριαρχίας πάνω από 1 Km

15.8 Θεωρητικά αποτέλεσμα από την εφαρμογή της μεθόδου

Για τη θεωρητική ανάλυση των αποτελεσμάτων θα θεωρήσουμε ένα cell με 2 TRX και χαρτογράφηση καναλιών AGCH όπως στο Σχήμα 15-2. Όπως έχουμε υπολογίσει και από επάνω έχουμε για 1 BCCH. Θεωρούμε συμμετρική κίνηση 50% - 50% uplink – downlink GPRS και μόνο για τα κανάλια εκχώρησης AGCH. Επίσης θεωρούμε ότι έχουμε ομοιόμορφη κατανομή χρηστών στην περιοχή κυριαρχίας της αρχικής κυψέλης.

Offered GPRS Traffic	GPRS Load (sec)	AGCH Utilisation	Available for Speech
7 Kbits	1.7	37%	63%
23 Kbits	4.5	58%	42%
33 Kbits	7.9	105%	-5%
44 Kbits	8.3	110%	-10%

Πίνακας 15-5: AGCH φορτίο για 1 BCCH

Offered GPRS Traffic	GPRS Load (sec)	AGCH Utilisation	Available for Speech
7 Kbits	1.7	19%	81%
23 Kbits	4.5	29%	71%
33 Kbits	7.9	53%	47%
44 Kbits	8.3	55%	45%

Πίνακας 15-6: AGCH φορτίο για BCCH_1

Offered GPRS Traffic	GPRS Load (sec)	AGCH Utilisation	Available for Speech
7 Kbits	1.7	19%	81%
23 Kbits	4.5	29%	71%
33 Kbits	7.9	53%	47%
44 Kbits	8.3	55%	45%

Πίνακας 15-7: AGCH φορτίο για BCCH_2

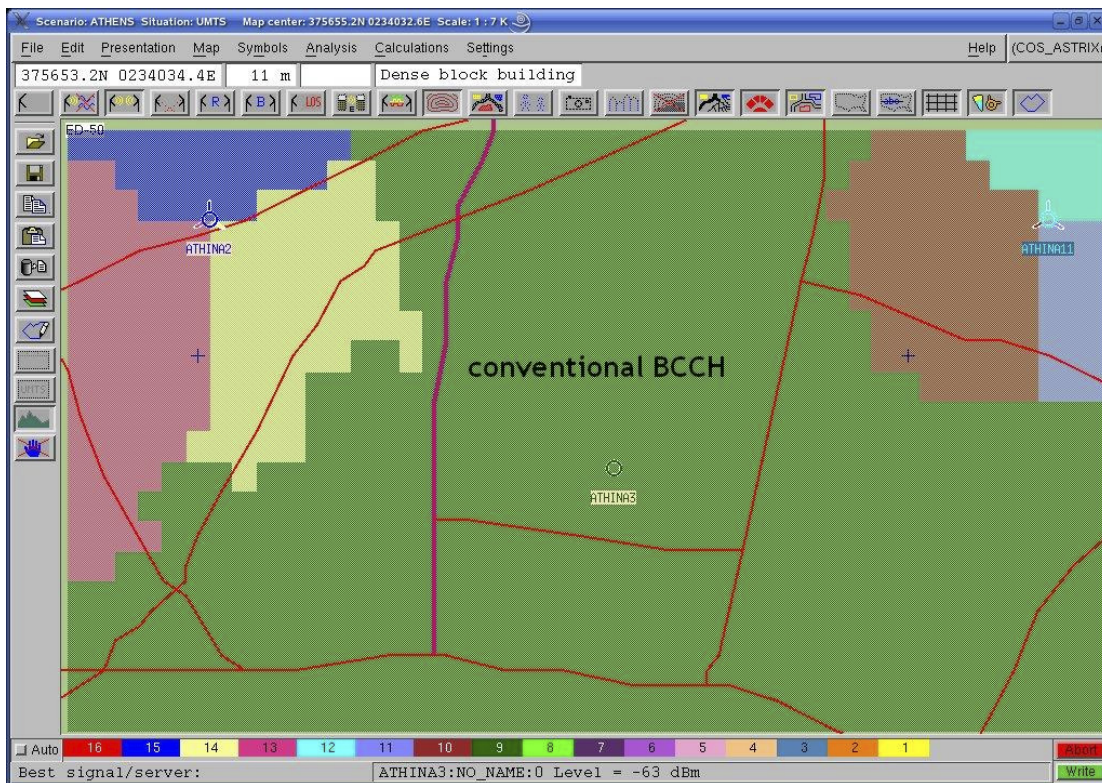
Όπως παρατηρούμε το φορτίο στους πόρους AGCH έχει πέσει ακριβώς κατά το ήμισυ.

15.9 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα

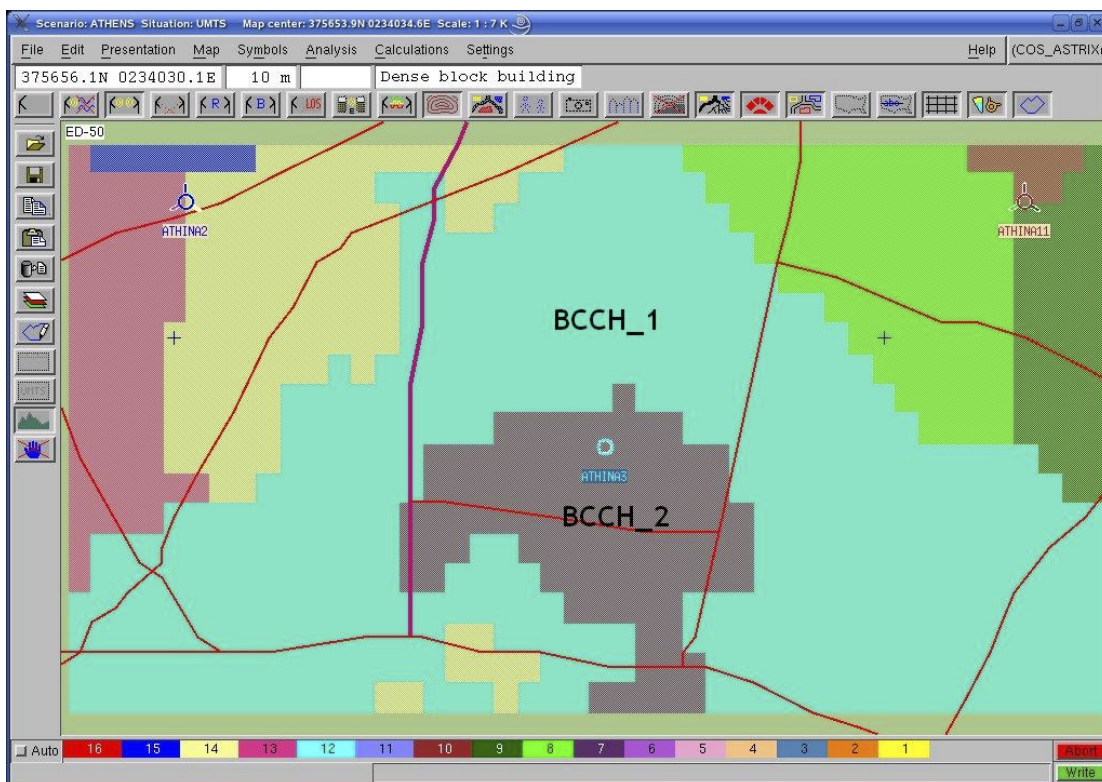
Το κυριότερο πλεονέκτημα αυτής της τεχνικής είναι ότι αυξάνει την χωρητικότητα των καναλιών CCCH και ειδικά των AGCH σε μια κυψέλη. Έτσι η χρήση της υπηρεσίας GPRS δεν δημιουργεί προβλήματα στις υπηρεσίες μεταγωγής κυκλώματος, όπως η απλή χρήση της τηλεφωνίας. Επίσης ο διαχειριστής του δικτύου μπορεί να αλλάξει δυναμικά την περιοχή κυριαρχίας κάθε BCCH βάση του φορτίου που δέχεται (Dynamic cell resizing), έτσι ώστε να είναι ομοιόμορφα κατανομημένη η κίνηση. Το μόνο που χρειάζεται είναι η μεταβολή των παραμέτρων που προαναφέραμε.

Σημείωση:

Σε ορισμένες περιπτώσεις σταθμών βάσεις, είναι δυνατή μόνο η χρήση πανκατευθυντικής (omni directional) κεραίας. Έτσι πάνω σε μια τέτοια κεραία μπορούμε να βάλουμε μεγάλο αριθμό TRXs με μόνο ένα BCCH TRX. Όπως είναι κατανοητό μια τέτοια κυψέλη δέχεται πολλαπλάσιο φορτίο στα CCCH, από ότι μια sectorized cell. Εδώ μπορούμε να εφαρμόσουμε την τεχνική πολλαπλών BCCH TRXs, με την ίδια λογική όπως παραπάνω. Το αποτέλεσμα είναι να έχουμε τα ίδια πλεονεκτήματα με την sectorized αρχιτεκτονική σε μια omni κεραία. Όπως θα δούμε και στην παρακάτω προσομοίωση Σχήμα 15-10 με το AS-TRIX έχουμε διαχωρισμό μεταξύ των BCCH με ομόκεντρους κύκλους και τομείς. Η συμβατική ραδιοκάλυψη του συμβατικού BCCH με Omni φαίνεται στο Σχήμα 15-9.



Σχήμα 15-9: Περιοχή κυριαρχίας cell με omni antenna και 1 BCCH (πράσινο)



Σχήμα 15-10: Περιοχή κυριαρχίας cell με omni antenna και 2 BCCHs (γαλάζιο και μοβ)

16 Δυναμική εκμετάλλευση ραδιοπόρων γειτονικών κυψελών

16.1 Εισαγωγή

Σε ένα GSM/GPRS δίκτυο τα κανάλια κίνησης μπορούν να ανατεθούν στις υπηρεσίες μεταγωγής κυκλώματος και μεταγωγής πακέτου. Για την καλύτερη ομαδοποίηση των πόρων, χωρίζουμε τα κανάλια σε κάθε κυψέλη σε δυο ομάδες. (i) Ομάδα καναλιών για υπηρεσίες μεταγωγής κυκλώματος (CS) και (ii) Ομάδα καναλιών για υπηρεσίες που χρησιμοποιούν μεταγωγή πακέτου (PS). Υπάρχουν ειδικές παράμετροι που επιτρέπουν την κατανομή, βάση των απαιτήσεων του σταθμού βάσης. Έτσι έχουμε την παράμετρο Dedicated GPRS capacity και Default GPRS capacity. Και η δυο παράμετροι έχουν ως τιμή ποσοστό επί των συνολικών διαύλων κίνησης της κυψέλης. Τα Dedicated GPRS channels είναι κανάλια αποκλειστικής χρήσης της υπηρεσίας GPRS. Τα Default GPRS channels είναι κανάλια που χρησιμοποιούνται από το GPRS υπό την προϋπόθεση ότι δεν χρειάζονται τα κανάλια αυτά για υπηρεσία CS. Ο καθορισμός αυτών των τιμών είναι αρκετά δύσκολος, διότι χρειάζεται μεγάλο αριθμό στατιστικών από το δίκτυο, τα οποία θα εκτιμήσει ο σχεδιαστής του δικτύου και θα αποφασίσει. Στον παρακάτω Πίνακα 16-1 δίνεται ένα παράδειγμα διαστασιοποιήσεις μιας κυψέλης με ποικίλο αριθμό TRX. Σε αυτό τον πίνακα μπορούμε να δούμε τις αναγκαίες σε κανάλια για τις υπηρεσίες CS και PS, καθώς και τον ανταγωνισμό που υπάρχει μεταξύ τους.

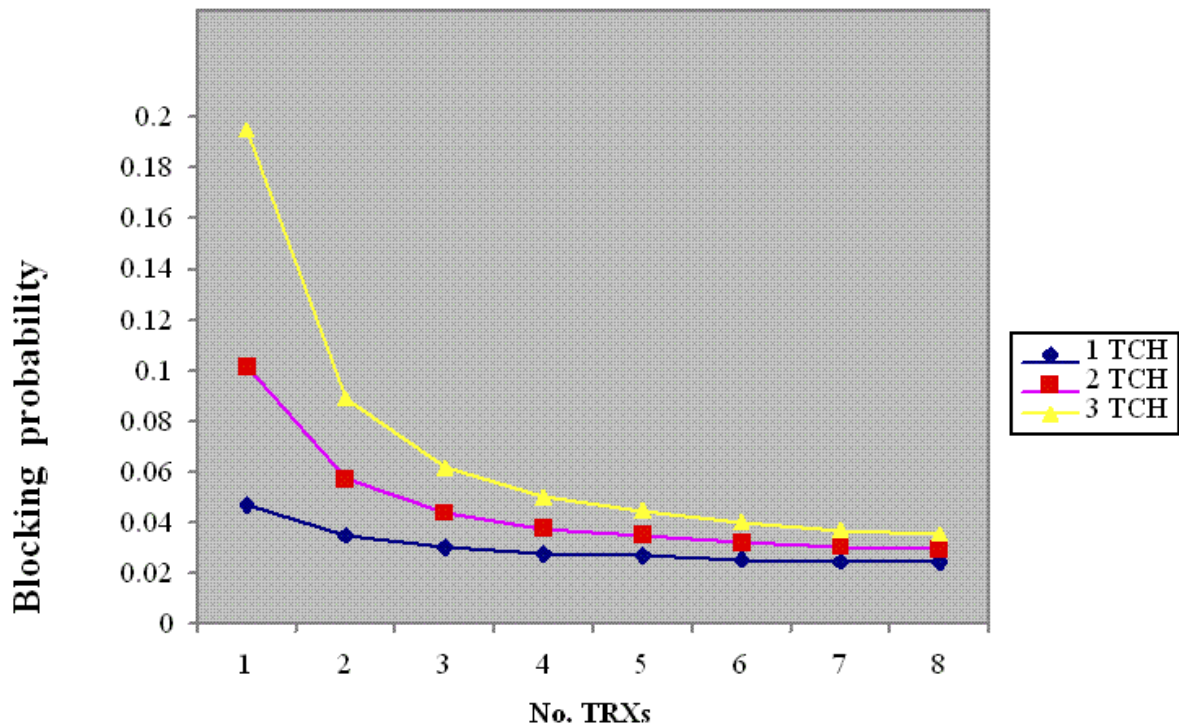
Number of TRX (TCH)	GSM Traffic @1% blocking (Erl)	GSM Traffic @ 2% blocking (Erl)	Mean free TCH for GPRS (1% blocking)	Mean free TCH for GPRS (2% blocking)
1 (7)	0.5	2.9	5.5	3.1
2 (14)	7.4	8.2	5.1	4.3
3 (22)	13.7	14.9	6.8	5.6
4 (30)	20.3	21.9	7.2	5.6
5 (38)	27.3	29.2	7.7	5.8
6 (46)	34.3	36.5	8.7	6.5
7 (54)	41.5	43.9	9.5	7.1
8 (62)	48.7	51.5	9.3	6.5

Πίνακας 16-1: Κίνηση σε Erlang για CS και ελεύθερα κανάλια για GPRS

Όπως παρατηρούμε όσο και αν προσθέτουμε TRX για δεδομένο Blocking στα CS κανάλια, έχουμε μικρή αύξηση στα διαθέσιμα PS κανάλια.

16.2 Περιγραφή

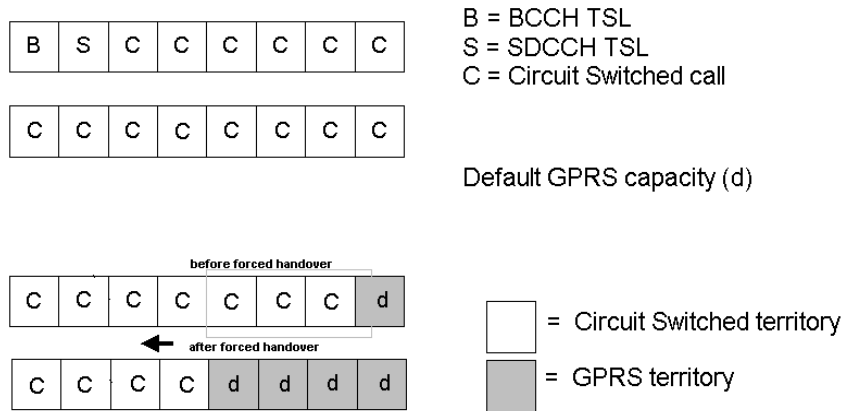
Εφόσον θέλουμε να εξασφαλίσουμε ποιότητα στην υπηρεσία GPRS θα πρέπει να αναθέσουμε ένα μεγάλο αριθμό Dedicated GPRS channels. Έτσι όμως αφαιρούμε κανάλια κίνησης που δεν θα είναι διαθέσιμα για τις CS υπηρεσίες. Από ότι παρατηρούμε υπάρχει ένα ισχυρός ανταγωνισμός μεταξύ των υπηρεσιών. Στο παρακάτω Διάγραμμα 16-1 μπορούμε να δούμε την αύξηση του Blocking Probability στις υπηρεσίες CS, σε συνάρτηση με τον αριθμό των TRX και των Dedicated GPRS channels.



Διάγραμμα 16-1: Επίδραση του αριθμού των Dedicated GPRS channels στο Blocking probability των CS υπηρεσιών

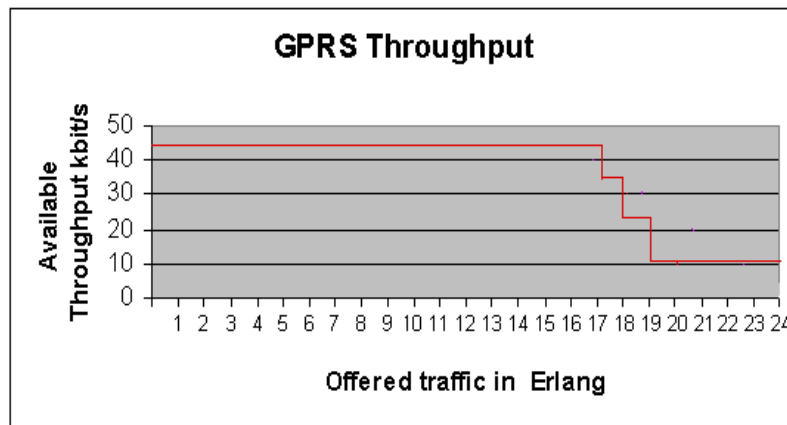
Η τεχνική της εκμετάλλευσης γειτονικών πόρων, εφαρμόζει την δυνατότητα του GPRS να κάνει κατευθυνόμενη διαπομπή (force handover) χρήστες CS. Αυτό είναι αναγκαίο διότι στο GPRS δεν υπάρχει ο όρος της διαπομπής (handover), αφού κατά την διάρκεια της χρήσης του GPRS από το MT δεν υπάρχει πληροφορία προς το δίκτυο για τα επίπεδα λήψης των γειτονικών BCCH στο BSC, έτσι ώστε να γίνει διαπομπή. Αντιθέτως, ένας CS χρήστης στέλνει αυτού του είδους της πληροφορία περιοδικά, μέσω των καναλιών SACCH (Slow Association Channels). Δηλαδή ο νέος μηχανισμός θα επιβλέπει την κίνηση μεταξύ των CS και PS υπηρεσιών. Αν έχουμε μεγάλο αριθμό χρηστών CS που ήδη έχουν ένα κανάλι, αλλά ταυτόχρονα δημιουργείται κίνηση GPRS η οποία δεν μπορεί να καλυφθεί από τα διαθέσιμα ελεύθερα κανάλια, τότε το σύστημα αξιολογεί τα δεδομένα σχετικά με τα επίπεδα λήψης των γειτονικών BCCH από το BSC και επιλέγει τους χρήστες που έχουν την μικρότερη πιθανότητα για αποτυχημένο handover. Ένα κριτήριο είναι η ταχύτητα του χρήστη, η κινητικότητα του, το επίπεδο της λήψης ενός γειτονικού σταθμού βάσης και τέλος οι διαθεσιμότητα καναλιών στον υποψήφιο γειτονικό σταθμό.

Στο παρακάτω Σχήμα 16-1 μπορούμε να δούμε την διάταξη των καναλιών CSD και GPRS σε 1 BTS με 2 TRXs.

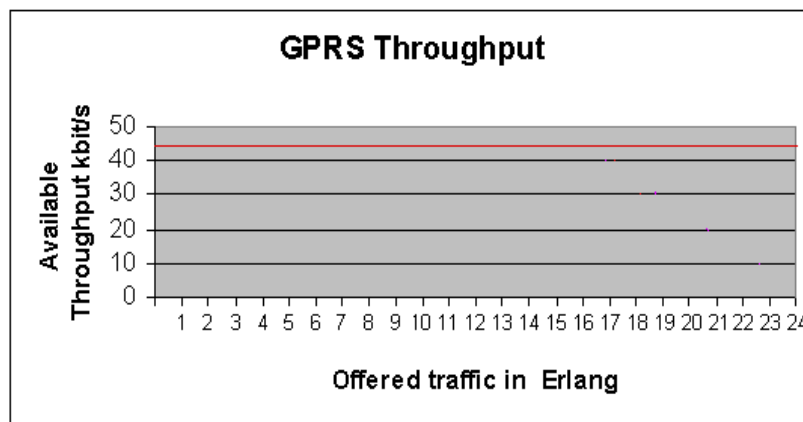


Σχήμα 16-1: Κατανομή καναλιών CSD και GPRS σε BTS με 2 TRXs

Βλέπουμε ότι μετά το forced handover έχουμε πλέον 4 διαθέσιμα GPRS κανάλια από 1 πριν την εφαρμογή της τεχνικής. Στα παρακάτω Διαγράμματα 16-2 και 16-3 μπορούμε να δούμε την θεωρητική επίδραση της τεχνικής στο throughput της υπηρεσίας GPRS.



Διάγραμμα 16-2: GPRS Throughput σε BTS με 2 TRXs and without GPRS RRM



Διάγραμμα 16-3: GPRS Throughput σε BTS με 2 TRXs και με εφαρμογή της τεχνικής

16.3 Επηρεασμός άλλων στοιχείων του δικτύου

Η τεχνική αυτή πρόκειται να αύξηση των αριθμό των διαπομπών. Μια τέτοια κατάσταση ενδέχεται να αυξήσει των αριθμό των dropped calls. Αλλά αυτό εξαρτάται από το πόσο καλή εκτίμηση θα κάνει το BSC και ο μηχανισμός πριν αποφασίσει την διαπομπή.

16.4 Εφαρμογή και σύνταξη της τεχνικής σε NOKIA BSC

Σύνταξη της διαταγής στο BSC με MML:

```
ERS: ( BTS = <BTS identification > |  
      NAME = <BTS name > ) ,  
  
      ( TRX = <transceiver identification > ... |  
        IFREQ = <TRX identification with frequency > ... ) ,  
  
      [ CH = <RTSL identification > ... ] :  
  
      <administrative state > :  
  
      [ <forced handover > | <immediate lock > def |  
        [ <time limit > | <10 sec > def ] ] ;
```

Επεξήγηση των παραμέτρων:

BTS identification

BTS = decimal number

Δεκαδικός αριθμός από 1 – 65535.

BTS name

NAME = text string

Το όνομα του BTS έως 15 χαρακτήρες

TRX Transceiver identification

TRX = decimal number

Παράμετρος που καθορίζει την ταυτότητα του TRX. Παίρνει τιμές από 1 – 16

TRX identification with frequency

IFREQ = decimal number

Αυτή η παράμετρος προσδιορίζει το TRX μέσω του καναλιού που του έχει ανατεθεί.

Η τιμή της παραμέτρου καθορίζεται από την συχνότητα του TRX 900 – 1800 MHz:

1. Για GSM 900 οι τιμές είναι 1...124.
2. Για το extended GSM έχουμε 975...1023, 0.
3. Για το DCS 1800 έχουμε 512 - 885.

forced handover FHO

Η παράμετρος που ενεργοποιεί τον μηχανισμό προς εκτέλεση.

Time limit

Ο χρόνος που χρειάζεται για να παρθεί η απόφαση και να εκτελεστεί η τεχνική. Παίρνει τιμές από 1 – 500sec.

RTSL identification

CH = decimal number

Αυτή η παράμετρος καθορίζει το νούμερο της χρονοσχισμής (timeslot) του οποίου ο χρήστης θα δεχτεί την διαπομπή. Η παράμετρος παίρνει τιμές από 0 – 7.

16.5 Περιορισμοί

Δεν υπάρχουν περιορισμοί σε αυτήν την τεχνική.

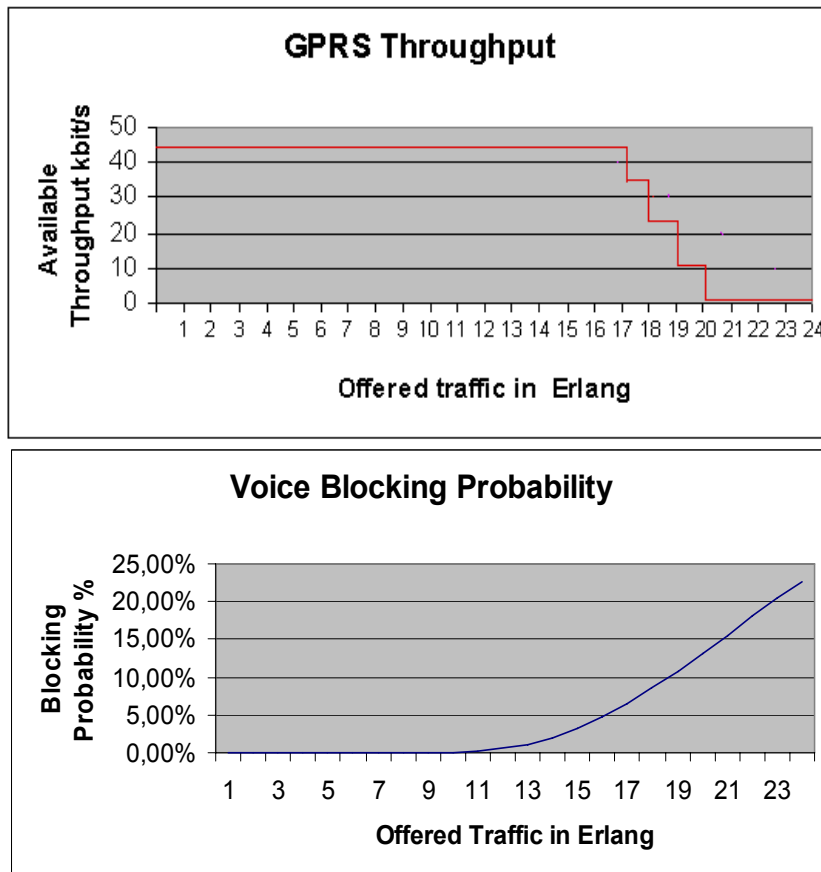
16.6 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα

Το κυριότερο μειονέκτημα αυτής της τεχνικής είναι ότι μπορεί να παρέχει υψηλό QoS στους χρήστες της υπηρεσίας GPRS, χωρίς να αυξηθεί η πιθανότητα αποτυχημένων προσπαθειών κλήσεων, κάτι που θα γινόταν αν είχαμε υιοθετήσει της λύσης με dedicated GPRS channels.

Ένα μειονέκτημα είναι ότι θα αυξηθεί ο αριθμός των διαπομπών σε συνθήκες υψηλής κίνησης ταυτόχρονα και στο GPRS αλλά και στις υπηρεσίες μεταγωγής κυκλώματος. Όπως προαναφέραμε αυτό ενδέχεται να αυξήσει το call drop rate αλλά με σωστή εκτίμηση από το BSC ελαχιστοποιείται κάτι τέτοιο.

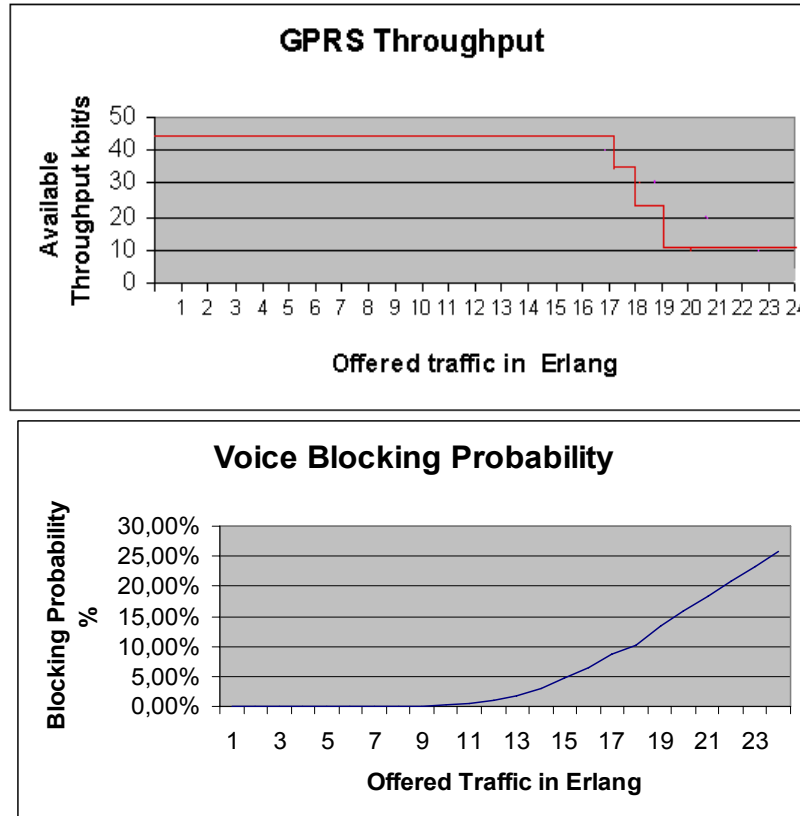
16.7 Θεωρητικά αποτελέσματα

Εδώ θα ασχοληθούμε λίγο με θεωρητικά αποτελέσματα, έτσι ώστε να δούμε τα οφέλη από την εφαρμογή αυτής της τεχνικής. Στο παρακάτω Διάγραμμα 16-4, βλέπουμε ότι το διαθέσιμο GPRS throughput και το CSD Blocking Probability για μια κυνέλη με 3 TRXs. Σε αυτό το παράδειγμα το cell δεν διαθέτει dedicated GPRS πόρους. Έτσι αυξανόμενη της προσφερόμενης τηλεπικοινωνιακής κίνησης βλέπουμε κλιμακωτή πτώση του διαθέσιμου GPRS throughput σε αντιστοιχία με την ανάλογη αύξηση του CSD Blocking Probability.



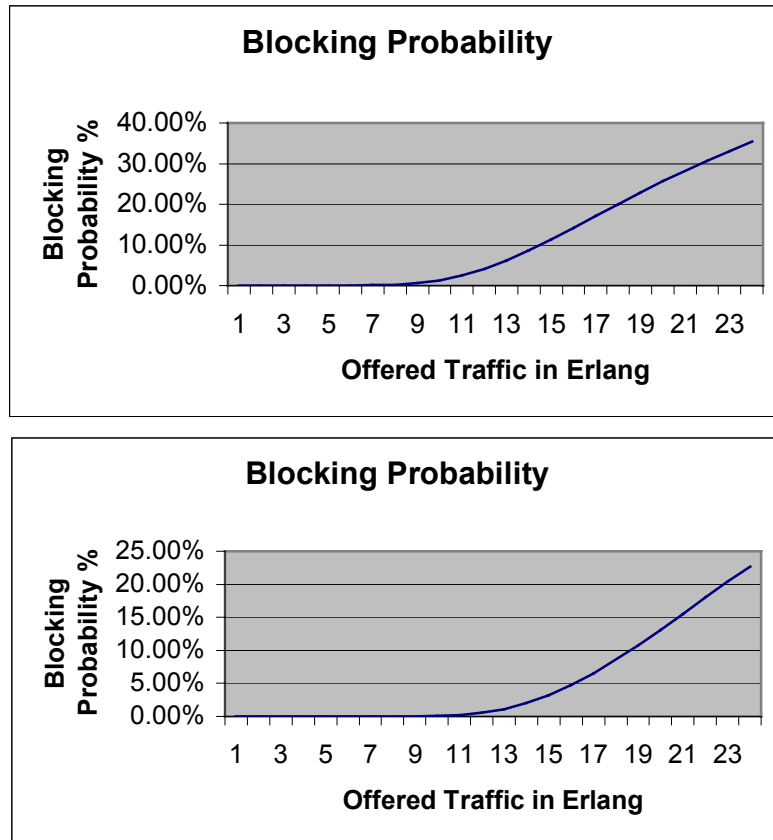
Διάγραμμα 16-4:GPRS Throughput και Voice Blocking χωρίς την εφαρμογή της τεχνικής και χωρίς dedicated GPRS κανάλια

Αν τώρα στο ίδιο σενάριο είχαμε ορίσει 1 dedicated GPRS κανάλι βλέπουμε από το Διάγραμμα 16-5, ότι μπορούμε να εξασφαλίσουμε το ελάχιστο γύρω στα 12 Kbps GPRS throughput, με σημαντική αύξηση του CSD Blocking Probability σε σχέση με το προηγούμενο παράδειγμα.



Διάγραμμα 16-5: GPRS Throughput και Voice Blocking χωρίς την εφαρμογή της τεχνικής και 1 dedicated GPRS κανάλι

Με την εφαρμογή της τεχνικής μπορεί να επιτύχουμε να έχουμε εγγυημένο throughput στην υπηρεσία GPRS χωρίς να επηρεάσουμε το CSD Blocking Probability. Στο παρακάτω Διάγραμμα 16-6, μπορούμε να δούμε το CSD Blocking Probability από ένα cell που μπορεί να παρέχει εγγυημένα πάντα 48 kbps. Παρατηρούμε ότι στην περίπτωση της συμβατικής λύσης με την χρήση 4 dedicated GPRS καναλιών (1^η περίπτωση) έχουμε υψηλότατο Blocking Probability λόγω της δέσμευσης των 4 καναλιών. Στην περίπτωση όμως της τεχνικής μας βλέπουμε ότι το CSD Blocking Probability, είναι σχεδόν ίδιο σαν να μην είχαμε καθόλου dedicated GPRS κανάλια.



Διάγραμμα 16-6: Blocking Probability χωρίς και με εφαρμογή της τεχνικής

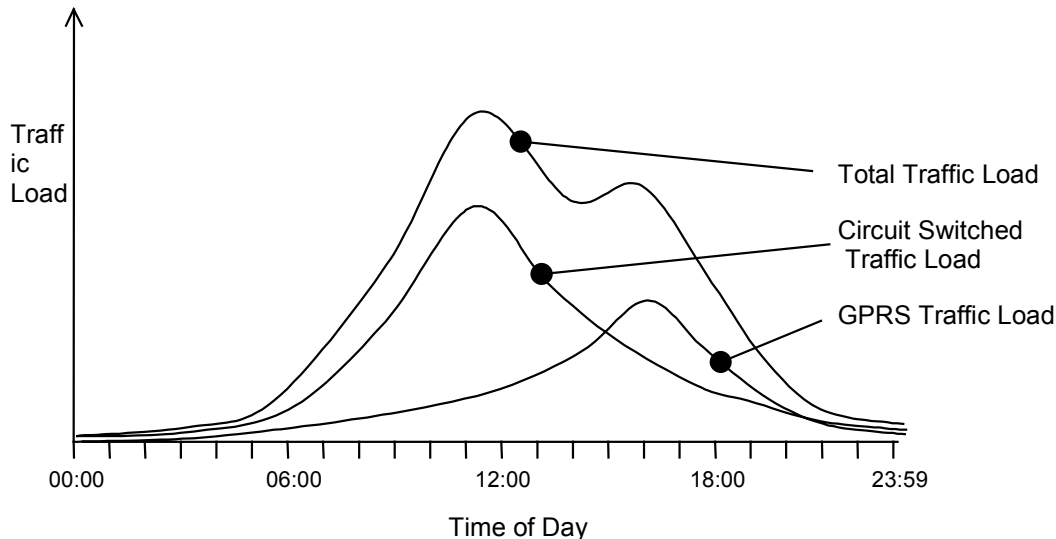
17 Δυναμική διαρρύθμιση της κατανομής καναλιών

17.1 Εισαγωγή

Όπως περιγράψαμε και παραπάνω σε ένα σταθμό βάσης τα κανάλια μπορούν να διακριθούν σε δυο κατηγορίες. Τα κανάλια για υπηρεσίες μεταγωγής κυκλώματος και τα κανάλια μεταγωγής πακέτου. Με τις Dedicated GPRS capacity και Default GPRS capacity παραμέτρους, είναι δυνατό να οριστούν ποια κανάλια μπορούν να χρησιμοποιηθούν αποκλειστικά από την υπηρεσία GPRS και ποια εφόσον δεν υπάρχει ζήτηση για υπηρεσίες CS.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω υπάρχει έντονος συναγωνισμός μεταξύ των υπηρεσιών μεταγωγής κυκλώματος ή πακέτου στο GSM. Έτσι αν θέλουμε να εξασφαλίσουμε QoS στο GPRS και ορίσουμε μεγάλο αριθμό dedicated GPRS channel, αυξάνουμε την πιθανότητα για blocking στις υπηρεσίες μεταγωγής κυκλώματος.

Έτσι ο διαχειριστής θα πρέπει να ορίζει την κατανομή αναλόγως των στατιστικών που έχει συλλέξει από τον σταθμό βάσης. Γενικώς όμως υπάρχει μια γενική κατάσταση κατανομής της κίνησης στο 24ωρο της ημέρας Σχήμα 17-1. Έτσι παρατηρούμε ότι η περίοδος αυξημένης κίνησης GPRS δεν είναι άμεσα συσχετισμένη με την κίνηση μεταγωγής κυκλώματος. Συγκεκριμένα η αιχμή κίνησης στο GPRS έρχεται 5 με 6 ώρες αργότερα από την αιχμή των κλήσεων φωνής. Αυτό δίνει την δυνατότητα στο διαχειριστή να ρυθμίζει τους σταθμούς βάσης σύμφωνα με το Σχήμα 17-1



Σχήμα 17-1: Κατανομή της κίνησης στο 24ωρο

Γενικά οι κύριες παράμετροι που θα πρέπει να απασχολούν το διαχειριστή του δικτύου είναι:

- Peak circuit-switched traffic load (Erlangs)
- Peak packet-switched load (Kbit/s)
- Circuit-switched traffic load during overall traffic peak hour (Erlangs)
- Packet-switched load during overall traffic peak hour (Kbit/s)

17.2 Παράμετροι της τεχνικής

Default GPRS capacity

CDEF = decimal number

Με αυτήν την παράμετρο ορίζεται σε επί % το ποσοστό των default GPRS καναλιών επί του συνόλου.

Dedicated GPRS capacity

CDED = decimal number

Με αυτήν την παράμετρο ορίζεται σε επί % το ποσοστό των αποκλειστικών GPRS καναλιών επί του συνόλου.

Η τιμή αυτή θα πρέπει να είναι μικρότερη από την αντίστοιχη τομή για τα Default GPRS channel.

17.3 Εφαρμογή και σύνταξη της τεχνικής σε NOKIA BSC

EQV: (BTS = <BTS identification >|
NAME = <BTS name>) ,

(
[CDED |
[CDEF] ;
)

Επεξήγηση των παραμέτρων:

BTS identification

BTS = decimal number

Δεκαδικός αριθμός από 1 – 65535.

BTS name

NAME = text string

Το όνομα του BTS έως 15 χαρακτήρες

dedicated GPRS capacity

CDED = decimal number

With this parameter you determine the share of PSW-only channels in a cell. The values range from 0 to 100 %.

The value of the CDED parameter must be lower than or equal to the value of the CDEF parameter.

You can modify the CDED parameter online when the value of the GENA parameter is N.

If the value of the GENA parameter is Y, you must lock the BTS before modifying the CDED parameter.

default GPRS capacity

CDEF = decimal number

With this parameter you determine the share of PSW (packet switched) channels in a cell. The values range from 1 to 100 %.

The value of the CDEF parameter must be higher than or equal to the value of the CDED parameter.

You can modify the CDEF parameter online when the value of the GENA parameter is N. If the value of the GENA parameter is Y, you must lock the BTS before modifying the CDEF parameter.

Παράδειγμα:

Μεταβολή των dedicated GPRS channels σε 50% των συνολικών καναλιών στο BTS με id 20

EQN:BTS=20:CDED=50;

17.4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα

Με αυτή την τεχνική μπορούμε να εξασφαλίσουμε το QoS στις υπηρεσίες GPRS εφόσον δεν έχουν πολύ γρήγορες μεταβολές στην κατανομή της κίνησης μεταξύ των PS και CS υπηρεσιών. Επίσης αυτή η τεχνική δεν μπορεί να αντιμετωπίσει σενάρια που έχουμε αυξημένη τηλεπικοινωνιακή κίνηση και στο GPRS και στις υπηρεσίες μεταγωγής κυκλώματος.

18 UMTS

18.1 Εισαγωγή

Το Παγκόσμιο Σύστημα Κινητών Τηλεπικοινωνιών (Universal Mobile Telecommunications System – UMTS) θεωρείται ο διάδοχος του GSM. Το UMTS είναι η 3^η γενιά (3G) των δικτύων κινητών επικοινωνιών. Το UMTS έρχεται να εξυπηρετήσει την αυξημένη ζήτηση κινητών εφαρμογών Internet, που απαιτούν αυξημένη χωρητικότητα από το ασύρματο τμήμα των δικτύων. Τα νέα δίκτυα θα αυξήσουν την μετάδοση δεδομένων μέχρι τα 2 Mbps ανά κινούμενο χρήστη. Το UMTS, που επίσης αναφέρεται σαν Ευρείας ζώνης Πολλαπλής πρόσβασης διαίρεσης Κώδικα (Wideband Code Division Multiple Access – W-CDMA), είναι μια από τις σημαντικότερες εξελίξεις στο χώρο των τηλεπικοινωνιών 3^{ης} γενιάς. Το UMTS επιτρέπει να παραχθούν πολλές νέες εφαρμογές σε μια παγκόσμια βάση χρηστών και παρέχει μια ουσιαστική ένωση μεταξύ των σημερινών δικτύων GSM και του τελικού παγκόσμιου στάνταρ για όλες τις κινητές τηλεπικοινωνίες (International Mobile Telecommunications 2000 – IMT-2000).

18.2 Αρχιτεκτονική UMTS

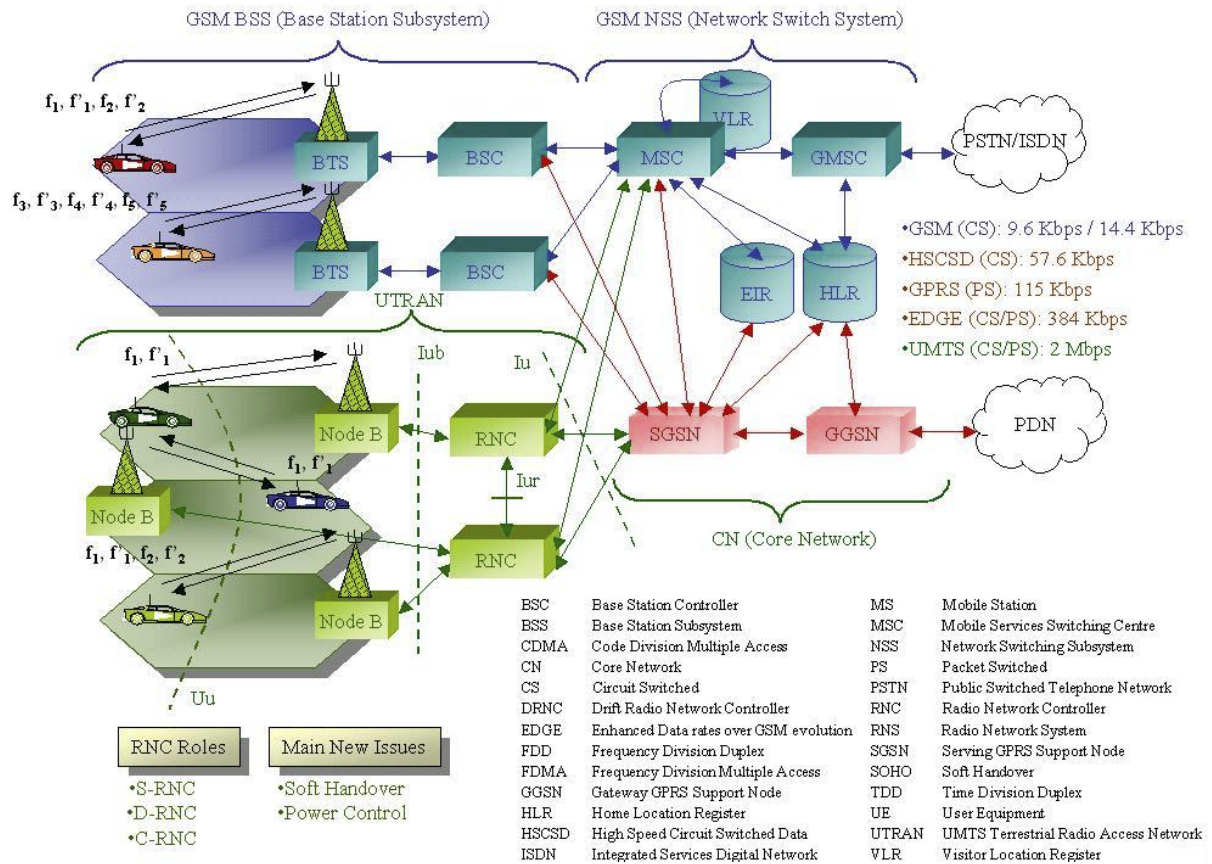
Το UMTS ενσωματώνει βελτιωμένα δίκτυα GSM φάσης 2+ με GPRS και CAMEL. Αυτό επιτρέπει στους operators να απολαμβάνουν την αποτελεσματικότητα του UMTS ενώ προστατεύουν τις επενδύσεις τους στη 2^η γενιά.

Η προσθήκη εξοπλισμού GPRS είναι το πρώτο βήμα που πρέπει να γίνει προκειμένου να εξελιχθεί ένα δίκτυο GSM σε δίκτυο UMTS. Το GPRS εισάγει την μεταγωγή πακέτου στο δίκτυο κορμού GSM και επιτρέπει την άμεση πρόσβαση σε δίκτυα πακέτων δεδομένων ενώ το UMTS επεκτείνει την ταχύτητα εφαρμογών μεταφοράς δεδομένων.

Στην αρχιτεκτονική του δικτύου GSM-GPRS προστίθεται το UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network ή WCDMA RAN) που υποδιαιρείται σε διάφορα RNS (Radio Network Subsystem), τα οποία επικοινωνούν με το SGSN. Κάθε RNS αποτελείται από τις συνιστώσες RNC (Radio Network Controller) και Node-B και κάθε RNS συνδέεται με το MGW.

Η τεχνολογία WCDMA χρησιμοποιεί ορθογωνικούς κωδικούς (Orthogonal Codes) ως κωδικούς διαυλοποίησης (channelization codes) και κωδικούς περίπλεξης (Scrambling Codes ή PN) για την πολυπλεξία δεδομένων.

UTRAN System Architecture



Σχήμα 18-1: Αρχιτεκτονική UMTS & GSM-GPRS

18.2.1 Node-B

Το Node-B είναι σταθμός βάσης του δικτύου UMTS και καλύπτει μία ή και περισσότερες κυψέλες. Κάθε Node-B έχει έναν αποκλειστικό αριθμό PN για την κατερχόμενη ζεύξη και χρησιμοποιεί διαφορετικούς OC για κάθε UE. Στην ανερχόμενη ζεύξη ισχύει το αντίθετο. Κάθε UE έχει έναν αποκλειστικό αριθμό PN αλλά χρησιμοποιούν τους ίδιους OC.

Βασικές λειτουργίες του Node-B είναι

- WCDMA spreading και dispreading.
- Διάθεση ραδιοπόρων.
- Διαμόρφωση κατά QPSK.
- Μετρήσεις ποιότητας και στάθμης σήματος (χρησιμοποιούνται και για ανίχνευση συμφόρησης).
- Έλεγχος ισχύος εκπομπής τερματικού (Inner loop power control).
- Υποστήριξη διαπομπών (softer και soft).
- Υπολογισμός FER (Frame Error Rate).
- FEC (Forward Error Correction).

18.2.2 RNC

Το RNC (Radio Network Controller) είναι ο ελεγκτής σταθμών βάσης του δικτύου UMTS. Οι κύριες λειτουργίες του είναι αντίστοιχες του BSC αλλά περιλαμβάνει και μερικές αντίστοιχες του MSC. Οι βασικές λειτουργίες είναι

- Διαχείριση χωρητικότητας για μεταφορά δεδομένων και υποστήριξη σηματοδοσίας για ενεργοποιήσεις κλήσεων.
- Διάθεση κωδικών διαυλοποίησης (OVSF).
- Διαπομπές (hard, soft, softer).
- Σύνδεση με το δίκτυο κορμού για την παροχή υπηρεσιών, εφαρμογών και σύνδεση με το διαδίκτυο, καθώς επίσης και με εξωτερικά δίκτυα.
- Διαχείριση ελέγχου ισχύος RF εκπομπής για τους σταθμούς βάσης και για τα τερματικά.
- Έλεγχος ποιότητας υπηρεσιών QoS.

Ένα φυσικό RNC χωρίζεται σε τρία λογικά RNC όπου το κάθε ένα έχει διαφορετικές λειτουργίες. Αυτά είναι τα:

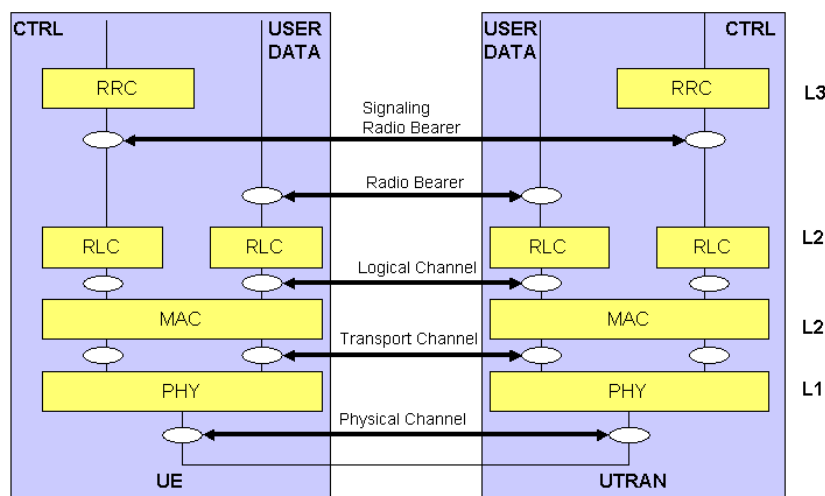
- CRNC (Controlling RNC). Είναι υπεύθυνο για τον έλεγχο του φορτίου κίνησης των σταθμών βάσης και συντονίζει τις νέες συνδέσεις με τα κινητά.
- SRNC (Serving RNC). Είναι το RNC από όπου ξεκινάει η σύνδεση με το χρήστη. Διαχειρίζεται τα δεδομένα του χρήστη και είναι αποκλειστικό για τον κάθε χρήστη άσχετα με το αν έγιναν διαπομπές ή όχι.
- DRNC (Drift RNC). Μεσολαβεί για την ασφαλή διαπομπή ενός κινητού τερματικού χωρίς να χαθεί η αρχική σύνδεση με το SRNC.

18.3 Ραδιοπόροι UMTS

Το πρωτόκολλο ραδιοδιεπαφής Uu χωρίζεται σε τρία στρώματα. Το Στρώμα 1 είναι το φυσικό στρώμα και περιέχει τα φυσικά κανάλια. Το Στρώμα 2 αποτελείται από τα κανάλια μεταφοράς και το Στρώμα 3 περιλαμβάνει τα λογικά κανάλια.

UTRAN Model

- UTRAN OSI Model



Σχήμα 18-2: Μοντέλο UTRAN (Ελέγχου και Δεδομένα Χρήστη)

Λογικά Κανάλια

Τα λογικά κανάλια παρέχονται από το Στρώμα 2(υπό-στρώμα MAC) σε υψηλότερα στρώματα. Είναι ένα ρεύμα πληροφορίας (information stream) αποκλειστικό για τη μεταφορά ενός ειδικού τύπου πληροφοριών πάνω στη ραδιοδιεπαφή. Χωρίζονται σε Κανάλια Ελέγχου και σε Κανάλια Κίνησης.

Τα Κανάλια Ελέγχου χρησιμοποιούνται για μεταφορά πληροφοριών ελέγχου και είναι τα:

- **BCCH** (Broadcast Control Channel). Αντίστοιχο του GSM-BCCH. Μεταδίδει πληροφορίες σχετικά με την κυψέλη.
- **PCCH** (Paging Control Channel). Αντίστοιχο του GSM-PCH. Χρησιμοποιείται στην κατερχόμενη ζεύξη όταν η περιοχή εντοπισμού ενός UE είναι γνωστή και εκπέμπει πληροφορίες αναζήτησης του UE.
- **CCCH** (Common Control Channel). Χρησιμοποιείται στην ανερχόμενη και κατερχόμενη ζεύξη εκπέμποντας πληροφορίες ελέγχου σε ένα UE όταν δεν υπάρχει σύνδεση RRC.
- **DCCH** (Dedicated Control Channel). Είναι αποκλειστικό κανάλι για ανερχόμενη και κατερχόμενη ζεύξη με ένα UE και χρησιμοποιείται μόνο όταν υπάρχει σύνδεση RRC.
- **SCCH** (Shared Control Channel). Χρησιμοποιείται μόνο στο μοντέλο TDD, στην κατερχόμενη ζεύξη καθώς σχετίζεται με κανάλια μεριζόμενης κίνησης.

Τα Κανάλια Κίνησης χρησιμοποιούνται για μεταφορά πληροφοριών σε επίπεδο χρήστη. Αυτά είναι:

- **DTCH** (Dedicated Traffic Channel). Αποκλειστικό κανάλι κίνησης για ανερχόμενη και κατερχόμενη ζεύξη με ένα UE.
- **CTCH** (Common Traffic Channel). Κανάλι κίνησης για κατερχόμενη ζεύξη με μια ομάδα UE.

18.3.1 Κανάλια Μεταφοράς

Τα κανάλια μεταφοράς παρέχονται από το Στρώμα 1 στο Στρώμα 2(υπό-στρώμα MAC). Περιγράφονται από το πώς και με ποια χαρακτηριστικά μεταφέρονται τα δεδομένα πάνω στη ραδιοδιεπαφή και με μια γενική ταξινόμηση χωρίζονται σε Κανάλια Κοινής Μεταφοράς και Κανάλια Αποκλειστικής Μεταφοράς.

Κάθε κανάλι μεταφοράς μπορεί να μεταφέρεται από τα φυσικά κανάλια με διαφορετικό τρόπο. Συνεπώς κάθε κανάλι μεταφοράς συνοδεύεται από έναν Ενδείκτη Μορφότυπου Μεταφοράς (TFI). Το Μορφότυπο Μεταφοράς είναι ένας συνδυασμός κωδικοποιήσεων, διεμπλοκής, δυφιορυθμού και απεικόνισης στα φυσικά κανάλια. Το Σύνολο Μορφότυπων Μεταφοράς είναι το σύνολο μορφότυπων μεταφοράς από το οποίο το MAC μπορεί να αναθέσει μια μορφοποίηση μεταφοράς σε ένα συγκεκριμένο RAB.

Στο φυσικό στρώμα η πολυπλεξία των TFI απεικονίζεται στον Ενδείκτη Συνδυασμού Μορφότυπων Μεταφοράς (TFCI) που απεικονίζει το σύνολο των συνδυασμών από μορφότυπα μεταφοράς.

Τα Κανάλια Κοινής Μεταφοράς χρειάζονται για ενδοζωνική αναγνώριση των UE και είναι τα:

- **BCH** (Broadcast Channel). Μεταφέρει το BCCH.
- **PCH** (Paging Channel). Μεταφέρει το PCCH.
- **RACH** (Random Access Channel). Αντίστοιχο του GSM-RACH.
- **FACH** (Forward Access Channel). Μεταφέρει τα DCCH,CCCH,DTCH στην κατερχόμενη ζεύξη.
- **DSCH** (Downlink Shared Channel). Κανάλι κατερχόμενης ζεύξης μεριζόμενων δεδομένων. Σχετίζεται με ένα ή περισσότερα DCH και μεταφέρει δεδομένα των DTCH, DCCH.
- **CPCH** (Common Packet Channel). Χρησιμοποιείται μόνο στην ανερχόμενη ζεύξη και μεταφέρει ασυνδεσμικά πακετοδοδεμένα.

Τα Κανάλια Αποκλειστικής Μεταφοράς χρειάζονται προκειμένου να αναγνωρίζεται το UE από το φυσικό κανάλι. Υπάρχει μόνο ένα αποκλειστικό κανάλι μεταφοράς, το **DCH** (Dedicated Channel) που μεταφέρει δεδομένα κίνησης και ελέγχου από ένα UE.

18.3.2 Φυσικά Κανάλια

Τα φυσικά κανάλια μεταφέρουν διάφορα κανάλια μεταφοράς. Αυτά που υποστηρίζονται τώρα είναι:

- **DPDCH** (Dedicated physical data channel). Χρησιμοποιείται για ανερχόμενη και κατερχόμενη ζεύξη με UE που είναι σε αποκλειστική κατάσταση, απεικονίζοντας τα DCH.
- **DPCCCH** (Dedicated physical control channel). Εντοπίζεται στην ίδια θυρίδα με το DPDCH και περιέχει τον ενδείκτη για το συνδυασμό μορφοποίησης μεταφοράς των καναλιών μεταφοράς που περιέχονται στο CCTrCH και πληροφορίες με τις οποίες το UE θα μετρήσει την ποιότητα του καναλιού για τη συνάρτηση του ελέγχου ισχύος εκπομπής.
- **PRACH** (Physical random access channel). Μεταφέρει το RACH.
- **Primary CCPCH** (Primary common control physical channel). Χρησιμοποιείται μόνο στην κατερχόμενη ζεύξη για την εκπομπή των SCH και BCH.
- **Secondary CCPCH** (Secondary common physical control channel). Κανάλι κατερχόμενης ζεύξης για εκπομπή των καναλιών μεταφοράς FACH και PCH.
- **SCH** (Synchronization Channel, primary-secondary). Εντοπίζεται στο P-CCPCH και περιέχει τους κωδικούς συγχρονισμού θυρίδας και πλαισίου (PSC,SSC).
- **AICH** (Acquisition Indicator Channel). Αντίστοιχο του GSM-AGCH.
- **PICH** (Paging Indicator Channel). Δημιουργείται από το στρώμα 1 και προειδοποιεί τα UE που είναι σε κατάσταση sleep ότι επίκειται αναζήτηση. Σχετίζεται πάντα με το S-CCPCH.
- **CPICH** (Common Pilot Channel). Εκπέμπεται, στην κατερχόμενη ζεύξη, συνεχώς με τον ίδιο Spreading Code ως σημείο αναφοράς της φάσης του σήματος. Βοηθάει τα UE να ανιχνεύσουν τα υπόλοιπα κανάλια του ίδιου σταθμού βάσης.
- **PCPCH** (Physical Common Packet Channel). Μεταφέρει το CPCH στην ανερχόμενη ζεύξη.

Διαχωρισμός πόρων

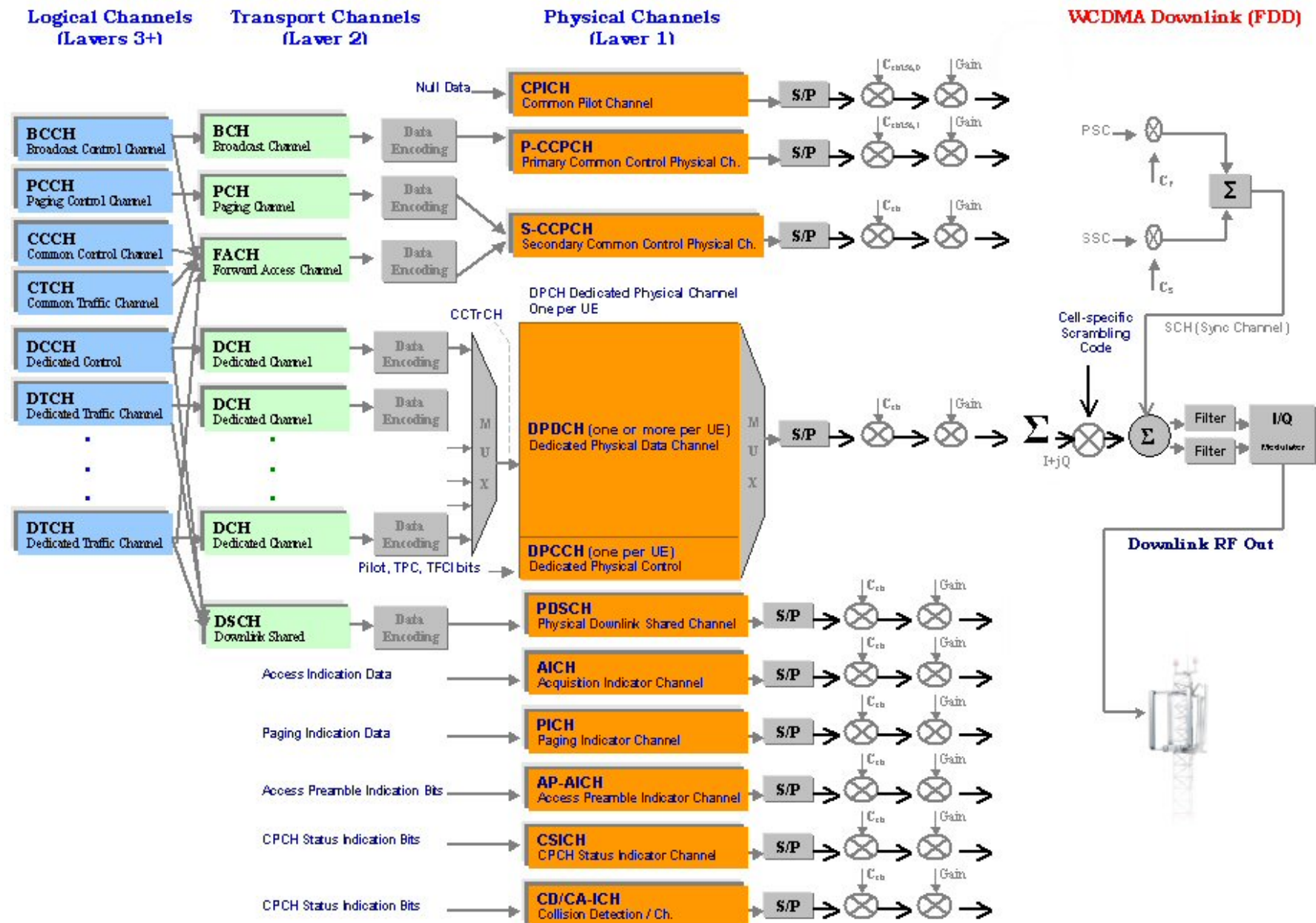
Ένα πλαίσιο αποτελείται από 15 θυρίδες και έχει διάρκεια 10ms. Πάνω στην κάθε θυρίδα βρίσκονται διάφορα φυσικά κανάλια, το κάθε ένα με το δικό του μορφότυπο.

Οι ραδιοπόροι μπορούν να ταξινομηθούν στις τρεις παρακάτω κατηγορίες.

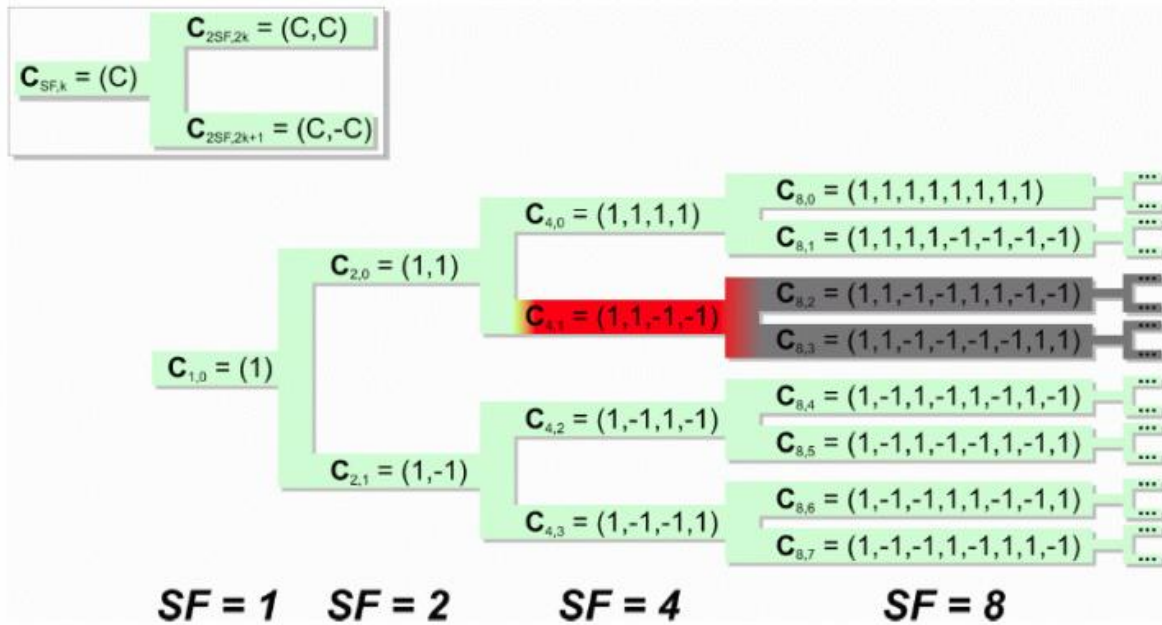
- Αποκλειστικούς (dedicated). Μεταφέρουν δεδομένα αποκλειστικά για ένα UE.
- Μεριζόμενους (shared). Μεταφέρουν δεδομένα που θα χρησιμοποιηθούν από μερικά UE τα οποία έχουν αποκλειστική σύνδεση. Επομένως βοηθούν στην εξοικονόμηση πόρων.
- Κοινούς (common). Μεταφέρουν δεδομένα για όλα τα UE.

Στο μέλλον στους ραδιοπόρους UMTS θα προστεθούν και τα παρακάτω κανάλια :

- **PDSCH** (Physical Downlink Shared Channel). Είναι φυσικό κανάλι για το DSCH και σχετίζεται με ένα ενεργό DPCCCH ώστε να μεταφέρει μεγάλα πακέτα δεδομένων τα οποία δε μπορεί να μεταφέρει το DPCCCH.
- **AP-AICH** (Access Preamble Indicator Channel). Κανάλι κατερχόμενης ζεύξης για ανταπόκριση του δικτύου στο RACH.
- **CSICH** (CPICH Status Indicator Channel). Χρησιμοποιείται στην κατερχόμενη ζεύξη για να πληροφορήσει το UE για τη διαθεσιμότητα των CPCH.
- **CD/CA-ICH** (Collision Detection - Collision Avoidance Channel). Σχετίζεται με το DSCH και χρησιμοποιείται από το UE όταν έχει προηγηθεί το AP-AICH.



(1) Spreading Codes



Σχήμα 18-3: Μορφή του δέντρου των κωδικών εξάπλωσης του UMTS

18.3.3 Απονομή πόρων

Όταν το UE τεθεί σε λειτουργία βρίσκεται σε κατάσταση ηρεμίας (idle mode state). Όταν ζητήσει πρόσβαση στο δίκτυο τότε αποκτά ένα φυσικό αποκλειστικό κανάλι. Τότε το UE είναι σε ενεργή κατάσταση (connected mode state) και έχει σύνδεση RRC (Radio Resource Control). Βρίσκεται στην κατάσταση Cell_DCH, δηλαδή του έχει εκχωρηθεί ένα αποκλειστικό φυσικό κανάλι ώστε να πραγματοποιεί μετρήσεις και να τις στέλνει στο RNC. Για λόγους, όμως, σηματοδότησης υπάρχει περίπτωση να μην του εκχωρηθεί ένα αποκλειστικό φυσικό κανάλι και να περάσει στην κατάσταση CELL_FACH, στην οποία θα χρησιμοποιεί τα κανάλια μεταφοράς RACH ή FACH. Αν δεν έχει σοβαρές απαιτήσεις ή παραμείνει σε κατάσταση ηρεμίας για ένα ορισμένο χρονικό διάστημα τότε η σύνδεση RRC απολύεται.

18.3.4 Αναζήτηση Κυψέλης

Όταν ενεργοποιηθεί το UE πρέπει να εντοπίσει το PLMN. Στη διαδικασία Αναζήτησης Κυψέλης (Cell Search) χρησιμοποιούνται φυσικά κανάλια, με πρώτο το P-SCH (Primary Synchronization Channel) όπου το UE επιτυγχάνει το Συγχρονισμό Χρονοθυρίδας (Timeslot Synchronization). Στη συνέχεια μέσω του S-SCH (Secondary Synchronization Channel) το UE επιτυγχάνει τον Συγχρονισμό Πλαισίου (Frame Synchronization) και λαμβάνει το Scrambling Code Group της κυψέλης που αποτελείται από 8 Primary Scrambling Codes. Συσχετίζει το CPICH με τους 8 κώδικες έτσι ώστε να βρει το Primary Scrambling Code της κυψέλης και εφόσον αναγνωρίσει το Primary Scrambling Code καθορίζει το P-CCPCH οπότε είναι έτοιμο να διαβάσει το λογικό κανάλι BCCH.

18.3.5 Επανεπιλογή Κυψέλης (Cell reselection)

Όταν ολοκληρωθεί η διαδικασία Αναζήτησης Κυψέλης, το UE μέσω του λογικού καναλιού BCCH θα έχει λάβει αρκετές πληροφορίες σχετικά με τον φορέα εκμετάλλευσης δικτύου, όπως το MCC (Mobile Country Code), MNC (Mobile Network Code), UARFCNUL (UTRAN Absolute Radio Frequency Channel number for Uplink και UARFCNDL (UTRAN Absolute Radio Frequency Channel number for Downlink). Έτσι μπορεί να ανιχνεύσει ολόκληρο το φάσμα WCDMA ώστε να επιλέξει την κυψέλη που ικανοποιεί πληρέστερα το κριτήριο ποιότητας και το κριτήριο ισχύος.

Σημαντική είναι η παράμετρος $bcchArfcn$ που δηλώνει την BCCH συχνότητα της GSM κυψέλης και ορίζεται για κάθε WCDMA – GSM γειτονική σχέση. Η παράμετρος $cellReserved$ υποδεικνύει αν η κυψέλη είναι δεσμευμένη από το φορέα εκμετάλλευσης δικτύου και η παράμετρος $accessClassBanned$ υποδεικνύει ότι τα κινητά που ανήκουν στην κλάση N (0-15), δεν έχουν πρόσβαση στο δίκτυο.

Με το κριτήριο ποιότητας (Squal) αξιολογείται ο λόγος Signal-to-Interference Ratio (SIR) στο CPICH που αναφέρεται ως $CPCICH Ec/No$. Με το κριτήριο ισχύος ($Srxlev$) αυτό αξιολογείται η ισχύς του σήματος που αναφέρεται ως $CPICH RSCP$ (Received Signal Strength Code Power). Τα κριτήρια δίδονται από

$$\mathbf{Squal} = \mathbf{Qqualmeas} - \mathbf{qQualMin} \quad (\text{μόνο για WCDMA κυψέλες}) \quad (2.1)$$

$$\mathbf{Srxlev} = \mathbf{Qrxlevmeas} - \mathbf{qRxLevMin} - \mathbf{Pcompensation} \quad (\text{για όλες τις κυψέλες}) \quad (2.2)$$

Και η επιλογή κυψέλης γίνεται όταν $Squal > 0$ και $Srxlev > 0$

Όπου:

Qqualmeas: Είναι η ποιότητα του λαμβανόμενου σήματος. Μετράτε από το UE και εκφράζεται σε $CPICH Ec/No$ (dB).

qQualMin: Η παράμετρος αυτή καθορίζει την ελάχιστη επιθυμητή ποιότητα σε μια κυψέλη. Αποστέλλεται στο UE μέσω του BCCH και ορίζεται για κάθε κυψέλη ξεχωριστά και για κάθε Intra- και Interfrequency γειτονική σχέση. Οι τιμές: είναι $-24 - 0$ dB με προτεινόμενη την: -18 dB .

Qrxlevmeas: Είναι η ισχύς του λαμβανόμενου σήματος. Μετριέται από το UE και εκφράζεται σε $CPICH Rscp$ (dBm).

qRxLevMin: Καθορίζει την ελάχιστη επιθυμητή στάθμη ισχύος σε μια κυψέλη. Αποστέλλεται στο UE μέσω του BCCH. Ορίζεται για κάθε κυψέλη ξεχωριστά και για κάθε Intra-Interfrequency, WCDMA-GSM γειτονική σχέση. Οι τιμές της είναι $-115 - -15$ dBm με προτεινόμενη την -115 dBm.

Η **Pcompensation** δίδεται από:

$$\mathbf{Pcompensation} = \mathbf{max} (\mathbf{maxTxPowerUI} - \mathbf{P}, \mathbf{0}) \quad (2.3)$$

Όπου:

P: Είναι η εκπεμπόμενη ισχύς του UE ανάλογα με την κλάση στην οποία ανήκει.

maxTxPowerUI: Καθορίζει την μέγιστη επιτρεπτή στάθμη ισχύς εκπομπής του UE όταν αυτό συνδέεται στο δίκτυο μέσω του RACH. Αποστέλλεται στο UE μέσω του BCCH. Ορίζεται για κάθε κυψέλη ξεχωριστά και για κάθε Intra- Interfrequency, WCDMA-GSM γειτονική σχέση. Οι τιμές είναι $-50 - 33$ dBm με προτεινόμενη την 24 dBm.

Μετρήσεις και Επανεπιλογή Κυψέλης

Η παράμετρος Squal συγκρίνεται με μια οριζόμενη από το δίκτυο παράμετρο και:

- Αν η παράμετρος είναι μικρότερη από το Squal τότε το UE δεν πραγματοποιεί μετρήσεις.
- Αν η παράμετρος είναι μεγαλύτερη ή ίση με το Squal τότε το UE πραγματοποιεί μετρήσεις.
- Αν η παράμετρος δεν αποστέλλεται στην εξυπηρετούσα κυψέλη τότε το UE πραγματοποιεί μετρήσεις.

Η παράμετρος αυτή ονομάζεται:

- **sIntraSearch** στην περίπτωση των μετρήσεων intrafrequency.
- **sInterSearch** στην περίπτωση των μετρήσεων interfrequency.
- **sRatSearch** στην περίπτωση των μετρήσεων GSM.

Για τις μετρήσεις χρησιμοποιούνται οι παρακάτω παράμετροι:

qHyst1. Η υστέρηση της εξυπηρετούσας κυψέλης που χρησιμοποιείται για την ταξινόμηση βάσει του CPICH RSCP. Οι τιμές της είναι 0 – 40 dB με προτεινόμενη τα 4 dB.

qHyst2 . Η υστέρηση της εξυπηρετούσας κυψέλης που χρησιμοποιείται για την ταξινόμηση βάσει του CPICH Ec/No. Οι τιμές της είναι 0 – 40 dB με προτεινόμενη τα 4 dB.

qOffset1sn . Το Offset μεταξύ της εξυπηρετούσας και της γειτονικής κυψέλης που χρησιμοποιείται για την ταξινόμηση βάσει του CPICH RSCP. Ορίζεται για κάθε κυψέλη ξεχωριστά και για κάθε Intra- Interfrequency, WCDMA-GSM γειτονική σχέση. Οι τιμές της είναι -50 – 50 dB με προτεινόμενες τις τιμές: 0 dB για WCDMA adj και 7 dB για GSM adj.

qOffset2sn . Το Offset μεταξύ της εξυπηρετούσας και της γειτονικής κυψέλης που χρησιμοποιείται για την ταξινόμηση βάσει του CPICH Ec/No. Ορίζεται για κάθε κυψέλη για κάθε Intra- Interfrequency, WCDMA-GSM γειτονική σχέση. Οι τιμές της είναι: -50 – 50 dB με προτεινόμενη την τιμή 0 dB.

QualMeasQuantity .Καθορίζει την μετρούμενη ποσότητα και ορίζεται για κάθε κυψέλη.

Τιμές: 1, 2 (1= CPICH RSCP, 2 = CPICH Ec/No) με προτεινόμενη την τιμή 2.

treselection. Έλεγχος χρόνου πραγματοποίησης Cell Selection & Reselection και ορίζεται για κάθε κυψέλη ξεχωριστά. Οι τιμές της είναι: 0 – 31 (sec) με προτεινόμενη την τιμή 2 .

sIntraSearch. Κριτήριο έναρξης intrafrequency μετρήσεων και ορίζεται για κάθε κυψέλη ξεχωριστά. Οι τιμές της είναι 0 – 27 (0: not sent, 1: -32 dBm, 2: -30 dBm27: 20 dBm) με προτεινόμενη την τιμή 0 .

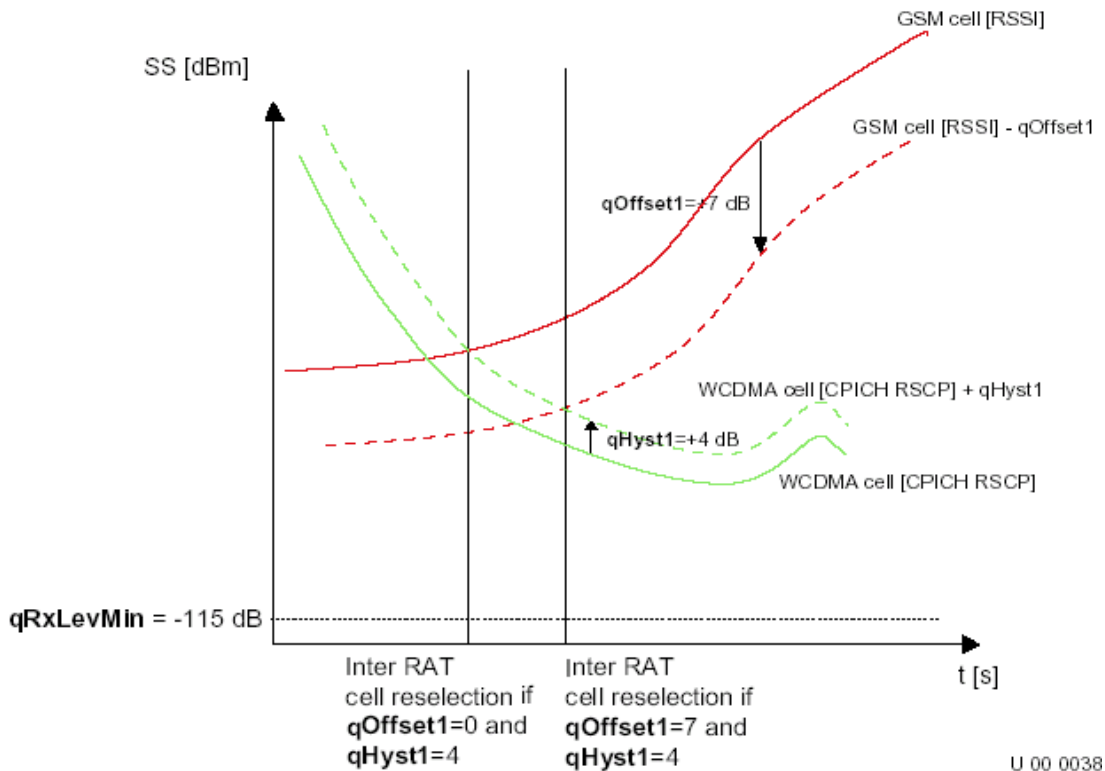
sInterSearch. Κριτήριο έναρξης interfrequency μετρήσεων και ορίζεται για κάθε κυψέλη ξεχωριστά. Οι τιμές της είναι 0 – 27 (0: not sent, 1: -32 dBm, 2: -30 dBm27: 20 dm) με προτεινόμενη την τιμή 0 .

sRATSearch .Κριτήριο έναρξης GSM μετρήσεων και ορίζεται για κάθε κυψέλη ξεχωριστά. Οι τιμές της είναι -32 – 20 dB (* Το UE αν λάβει αρνητική τιμή, την μεταφράζει σαν 0) με προτεινόμενη την τιμή 4.

Θέτοντας sIntraSearch, sInterSearch=0 το UE συνεχώς θα πραγματοποιεί Intra-Interfrequency μετρήσεις.

Αν sRATSearch=0 τότε το UE θα μετρά τις GSM κυψέλες όταν Qqualmeas=qQualmin, δηλαδή όταν το UE βγει εκτός UMTS κάλυψης. Αν sRATSearch=4 dB τότε οι GSM μετρήσεις θα αρχίσουν όταν CPICH Ec/No = -14dB.

Οι παράμετροι qHyst και qOffset χρησιμοποιούνται όταν το UE είναι σε κατάσταση ηρεμίας για να τροποποιούν το μέγεθος της κυψέλης. Συγκεκριμένα, η παράμετρος qHyst (1 & 2) προστίθεται στην εξυπηρετούσα κυψέλη και επεκτείνει τα όρια της κυψέλης έτσι ώστε να αποφεύγονται φαινόμενα ping-pong. Η παράμετρος qOffset (1 & 2) χρησιμοποιείται για να τροποποιεί τα όρια μεταξύ δύο κυψελών. Θετική τιμή της παραμέτρου, συρρικνώνει την γειτονική κυψέλη ενώ αντίθετα αρνητική τιμή επεκτείνει την κάλυψη της γειτονικής κυψέλης. Στην περίπτωση των WCDMA-GSM μετρήσεις έδειξε ότι ισχύει :[CPICH RSCP] = [GSM RSSI] + 7. Για τον λόγο αυτό η προτεινόμενη τιμή της παραμέτρου qOffset1sn, στην περίπτωση των GSM γειτονικών σχέσεων, είναι -7 dB. Αν η τιμή είναι > -7 dB τότε δίνεται προτεραιότητα στην WCDMA κυψέλη. Στο παρακάτω Σχήμα 18-5 παρουσιάζεται η θέση που γίνεται Επανεπιλογή Κυψέλης υποθέτοντας διαφορετικά σεν παραμέτρων.



Σχήμα 18-5: Περιγραφή Reselection Mechanism στο UMTS

Η διαδικασία Επανεπιλογής Κυψέλης βασίζεται επίσης στα κριτήρια S (Squal > 0 μόνο για τις WCDMA κυψέλες και Srxlev > 0), τα οποία πρέπει να πραγματοποιούνται μέσα στα χρονικά πλαίσια που καθορίζονται από την παράμετρο **reselection**. Στην συνέχεια ταξινομεί τις κυψέλες σύμφωνα με τα κριτήρια R, τα οποία δίδονται από:

$$R(\text{servi ng}) = Q_{\text{meas}(s)} + qHyst_{(s)}$$

$$R(\text{neighbor}) = Q_{\text{meas}(n)} - qOffset_{(s,n)}$$

Όπου:

Qmeas: Η ποιότητα του λαμβανόμενου σήματος. Για τις WCDMA κυψέλες είναι η τιμή του CPICH Ec/No ή CPICH RSCP ενώ για τις GSM κυψέλες είναι η τιμή του Signal Strength.

qHyst: Ποσότητα (hysteresis) που προστίθεται στην εξυπηρετών κυψέλη.

qOffset: Ποσότητα (offset) που αφαιρείται από την γειτονική κυψέλη. Χρησιμοποιείται για να μετακινεί τα όρια μεταξύ δύο κυψελών.

Όταν η μετρούμενη ποσότητα στο UMTS δίκτυο είναι το RCSP, τότε χρησιμοποιούνται οι παράμετροι qHyst1(s,n) και qHyst1(s). Στην περίπτωση αυτή, αν μια GSM κυψέλη βρίσκεται πρώτη στην λίστα τότε το UE συντονίζεται στην κυψέλη αυτή. Αντίστοιχη διαδικασία ακολουθείται και στην περίπτωση που η πρώτη κυψέλη είναι UMTS.

Όταν η μετρούμενη ποσότητα στο UMTS δίκτυο είναι το Ec/No, και η πρώτη κυψέλη στην λίστα ανήκει στο UMTS δίκτυο τότε πραγματοποιείται μια δεύτερη αξιολόγηση μεταξύ των UMTS κυψελών χρησιμοποιώντας τις παράμετροι qHyst2(s,n) και qHyst2(s) για τον υπολογισμό των R_n, R_s.

Για τον ορισμό της μετρούμενης ποσότητας, χρησιμοποιείται η παράμετρος: *qualMeasQuantity*.

Καθοριστική παράμετρος είναι η *interFreqFddMeasIndicator* (0 ή 1), η οποία υποδεικνύει αν το δίκτυο επιτρέπει στο UE να μετρήσει και να αξιολογήσει, για λόγους Επανεπιλογής Κυψέλης, τις *interfrequency* γειτονικές κυψέλες, όταν το UE βρίσκεται σε κατάσταση CELL_FACH. Ορίζεται για κάθε κυψέλη και συνήθως είναι 1, δηλαδή ναι.

Ενημέρωση Περιοχής Εντοπισμού και Δρομολόγησης

Η Ενημέρωση Περιοχής Εντοπισμού (Location Area Update) είναι παρόμοια με τη διαδικασία του ραδιοδικτύου GSM. Το UE αποστέλλει και λαμβάνει πληροφορίες σχετικά με την παράμετρο IAC (Location Area Code), η οποία χρησιμοποιείται για την αναζήτηση του UE όταν πρόκειται για υπηρεσίες μεταγωγής κυκλώματος. Η επανάληψη της διαδικασίας ορίζεται από την παράμετρο timer *t3212* (0 – 255 decihour) για κάθε LA ξεχωριστά

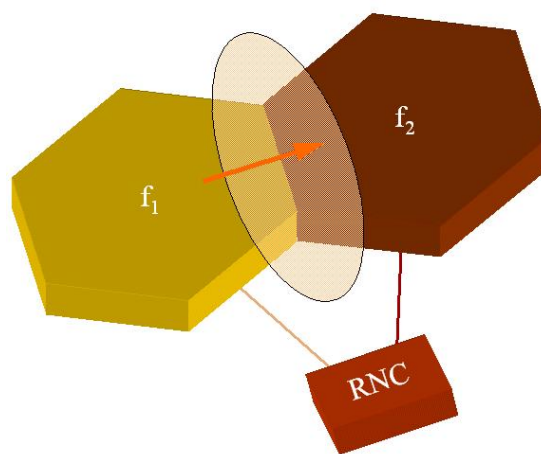
Η Ενημέρωση Περιοχής Δρομολόγησης (Routing Area Update) είναι η αντίστοιχη διαδικασία όταν πρόκειται για υπηρεσίες μεταγωγής πακέτου και η αντίστοιχη παράμετρος είναι η rAC (Routing Area Code). Η επανάληψη της διαδικασίας ορίζεται από την παράμετρο timer *t3312*.

Κάθε LA ή RA μπορεί να αποτελείται από κυψέλες που ανήκουν σε ένα ή περισσότερα RNCs. Κάθε κυψέλη ανήκει σε μία μόνο LA ή RA.

Μια κρίσιμη παράμετρος είναι η *att* (0 ή 1) η οποία καθορίζει, για κάθε LA ξεχωριστά, αν είναι διαθέσιμη η διαδικασία IMSI attach/detach. Συνήθως η τιμή είναι 1, δηλαδή η διαδικασία δεν επιτρέπεται.

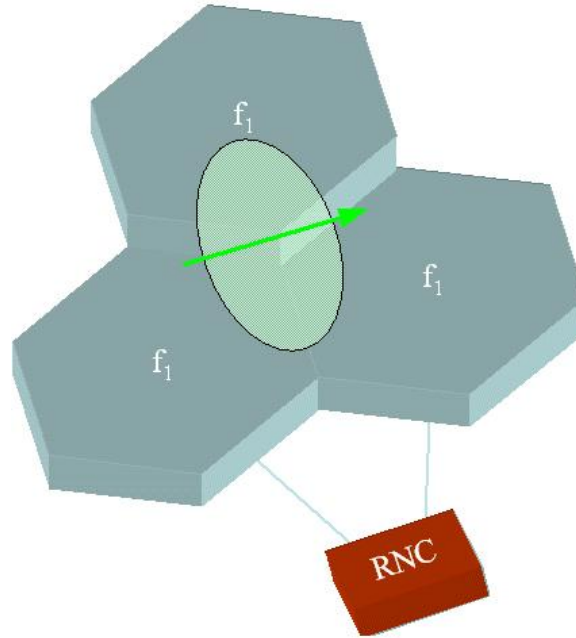
18.3.6 Διαδικασία διαπομπής (handover)

Στο UMTS έχουμε δυο διαφορετικούς μηχανισμούς διαπομπής (handover), το **hard handover** και το **soft handover**. Το **hard handover** είναι ίδια διαδικασία με το handover των προγενέστερων δικτύων κινητής τηλεφωνίας. Δηλαδή το κινητό τερματικό λαμβάνει εντολή από το RNC, κατά την διάρκεια μιας κλήσης, έτσι ώστε να εξυπηρετηθεί από σταθμό βάσης που χρησιμοποιεί διαφορετική RF συχνότητα. Δηλαδή στο UMTS, κατά την διάρκεια μιας κλήσης, το UE αλλάζει σταθμό βάσης που χρησιμοποιεί διαφορετικό carrier εύρους 4.5 MHz (Σχήμα 18-6).



Σχήμα 18-6: Διαδικασία hard handover

Το soft handover είναι η διαδικασία όπου το UE κατά την διάρκεια μιας κλήσης μπορεί να αλλάξει σταθμό βάσης, αλλά χωρίς να αλλάξει RF κανάλι αλλά ούτε κώδικα εξάπλωσης. Επίσης η τεχνολογία πολλαπλής πρόσβασης CDMA δίνει την δυνατότητα, η διαδικασία του soft handover να γίνεται με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε ένα UE να εξυπηρετείται κατά την διάρκεια του soft handover από περισσότερους από ένα σταθμούς βάσης.



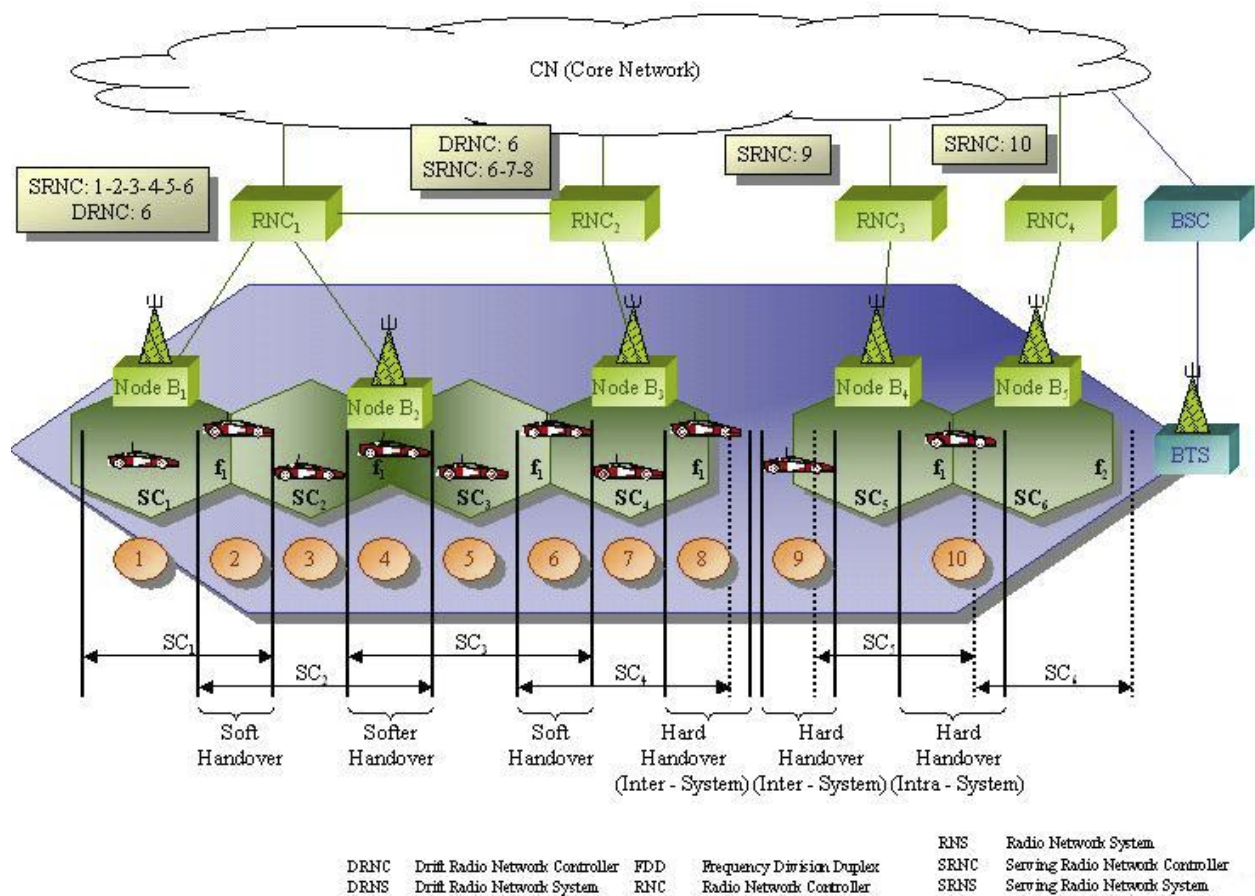
Σχήμα 18-7: Διαδικασία soft handover

Ο αριθμός των σταθμών βάσης που μπορεί να χρησιμοποιεί ένα UE κατά την διάρκεια του soft handover ονομάζεται active set και μπορεί να πάρει τιμές από 2-5. Η βέλτιστη τιμή που συνήθως χρησιμοποιείται είναι το 3, διότι το 2 δεν παρέχει επαρκή διαχωρισμό των σημάτων για το macro diversity, ενώ αντιθέτως στο 4 και 5 εισάγουν αρκετό θόρυβο στην downlink κατεύθυνση του δικτύου.

Αξιζει να σημειωσουμε ότι το soft handover προσφέρει διαπομπές υψηλότερης ποιότητας. Δηλαδή είναι παντελώς μη ανιχνεύσιμες από τον χρήστη, έχουν μηδαμινή πιθανότητα αποτυχίας και επίσης παρέχει στο δίκτυο έναν μηχανισμό macro diversity, τόσο στην uplink όσο και στην downlink κατεύθυνση. Έτσι σε περιβάλλον με έντονο το φαινόμενο του multipath, μπορούμε να έχουμε ασύγκριτα υψηλότερης ποιότητας υπηρεσίες φωνής καθώς και υπηρεσίες μετάδοσης δεδομένων με πολλαπλάσιο ρυθμό μετάδοσης.

Στο παρακάτω Σχήμα 18-8 μπορούμε να δούμε τους μηχανισμούς soft και hard handover στο UMTS.

Handover



Σχήμα 18-8: Διαδικασίες διαπομπής (handover) στο UMTS

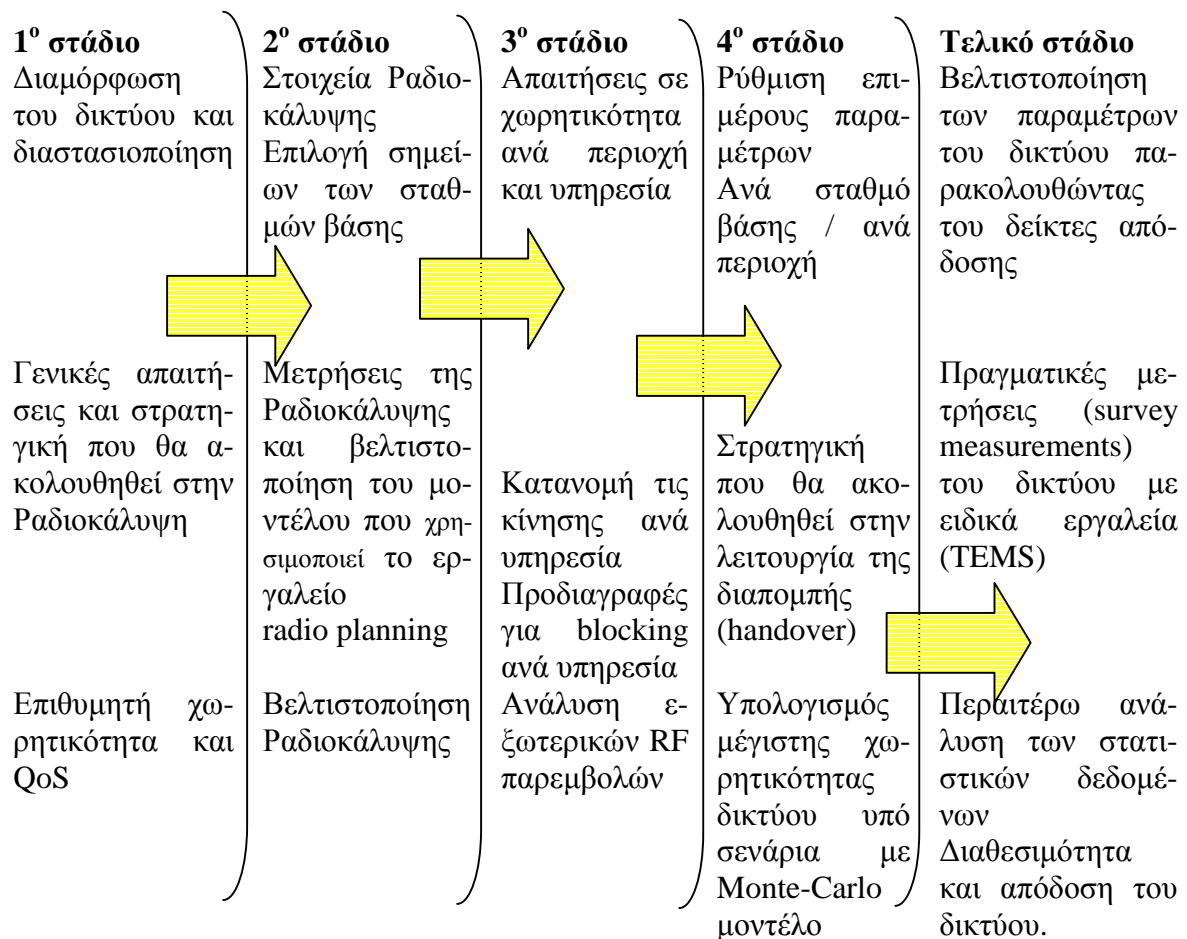
19 Βελτιστοποίηση της Ραδιοκάλυψης και της Διαστασιοποίησης UMTS δικτύων

19.1 Γενικά

Η Ραδιοκάλυψη και Διαστασιοποίηση (dimensioning) ενός δικτύου UMTS είναι μια πολύπλοκη και χρονοβόρα διαδικασία. Σε σχέση με τα συμβατικά δίκτυα δεύτερης γενιάς, οι παράμετροι που θα πρέπει να λάβει υπ' όψιν ο σχεδιαστής του δικτύου, είναι πολλές. Πρώτα από όλα τα δίκτυα UMTS από την φύση τους χρησιμοποιούν πολύπλοκους μηχανισμούς σε σχέση με το GSM 900 ή το DCS 1800. Γενικώς όλο το δίκτυο μεταβάλλεται δυναμικά, ανάλογα τον αριθμό των χρηστών που το χρησιμοποιούν, αλλά και από την απόσταση τους από τον σταθμό βάσης (Node-B).

Για να μπορέσει ο σχεδιαστής του δικτύου να λειτουργήσει ένα δίκτυο με βασικά στοιχεία πρέπει να ακολουθήσει κάποια συστηματικά, κάποια σημαντικά βήματα. Έπειτα βλέποντας τις περαιτέρω απαιτήσεις του δικτύου, προβαίνει σε ειδικές επιπλέον τροποποιήσεις.

Τα βασικά στάδια που θα πρέπει να ακολουθηθούν συνοψίζονται κάτωθι:

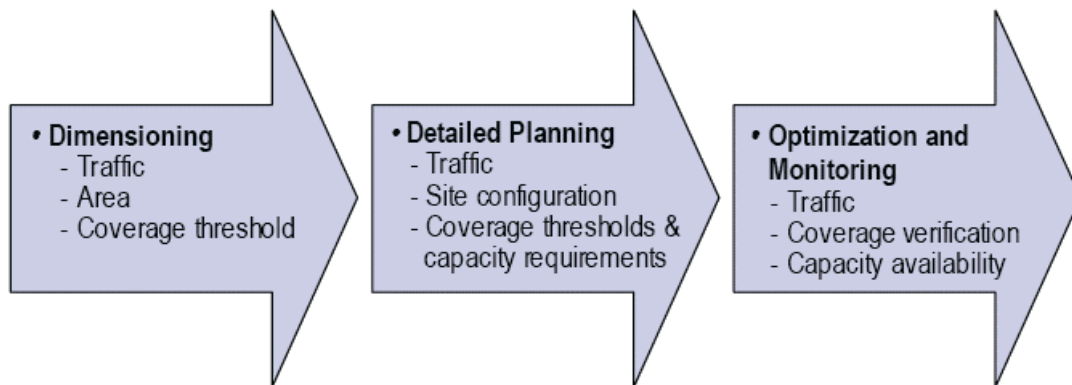


19.2 Μελέτη της Ραδιοκάλυψης του δικτύου

Η διαδικασία της μελέτης ραδιοκάλυψης ενός δικτύου UMTS, σε αρχικό στάδιο, μοιάζει με αυτή του GSM. Τα στάδια που ακολουθούνται είναι τα εξής:

- Διαστασιοποίηση
- Μελέτη του γενικού configuration και της αρχιτεκτονικής του σταθμού βάσης που θα ακολουθηθούν. Π.χ Κοινό wide band amplifier στο Node-B
- Βασικά κριτήρια ραδιοκάλυψης, όπως το μέσο επιθυμητό RX level στο δίκτυο
- Αρχική χωρητικότητα του δικτύου και δυνατότητα επέκταση
- Σχεδιασμός της απονομής scrambling codes και συχνοτήτων (frequency carrier), εφόσον χρησιμοποιούνται περισσότερα του ενός carrier.
- RF παράμετροι του δικτύου, όπως CPICH power allocation, admission control parameters, size of active set κλπ.
- Βελτιστοποίηση μετά από monitoring και στατιστική ανάλυση των δεικτών απόδοσης του δικτύου.

Στο Σχήμα 19-1 μπορούμε να δούμε περιγραφικά τα στάδια ανάπτυξης της ραδιοκάλυψης:



Σχήμα 19-1: Στάδια ανάπτυξης και σχεδιασμού της ραδιοκάλυψης

19.2.1 Ιδιαιτερότητες σχεδίασης των δικτύων UMTS

Το UMTS δίκτυο καλείται να εξυπηρετήσει νέες υπηρεσίες οι οποίες έχουν υψηλές απαιτήσεις σε QoS και απαιτούν υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης. Π.χ έχουμε υπηρεσίες όπως το videophone το οποίο είναι ευαίσθητο στις καθυστερήσεις και απαιτεί υψηλό throughput. Επίσης έχουμε υπηρεσίες μεταφοράς δεδομένων που μπορούν να φτάσουν το 1.8 Mbps (σε θεωρητικό επίπεδο) HSPDA

Γενικώς έχουμε να αντιμετωπίσουμε ένα περιβάλλον με πληθώρα υπηρεσιών, με διαφορετικές απαιτήσεις σε throughput και QoS.

Επίσης στο UMTS έχουμε να αντιμετωπίσουμε ένα δίκτυο που χρησιμοποιεί τεχνική πολλαπλής πρόσβασης βασισμένη στο απλωμένο φάσμα. Αυτό το σχήμα εισάγει αρκετά πλεονεκτήματα, αλλά προκειμένου να τα καρπωθείς, θα πρέπει να καταβληθεί μεγάλη προσοχή στην σχεδίαση του δικτύου. Έτσι παίζει σημαντικότατο ρόλο, όπως θα δούμε και παρακάτω η ισχύς που χρησιμοποιείται σε κάθε σταθμό, ο τύπος, η ποιότητα και τα τεχνικά στοιχεία τις κεραιές και πολλά άλλα. Μια λανθασμένη επιλογή έχει άμεσο αντίκτυπο την κατακόρυφη

μείωση της χωρητικότητας του δικτύου. Ένας βασικός στόχος είναι να υπάρχει η μέγιστη RF απομόνωση μεταξύ των γειτονικών σταθμών, για την ελαχιστοποίηση των παρεμβολών.

Επίσης στο UMTS έχουμε έναν νέο μηχανισμό που συνεισφέρει στην διατήρηση της κλήσης ενός χρήστη, το soft handover. Βέβαια το σύστημα υποστηρίζει και το συμβατικό handover που γνωρίζουμε από το GSM και ονομάζεται hard handover. Στο soft handover το κινητό τερματικό μπορεί να ακούει έως και 3 σταθμούς βάσης ταυτόχρονα (παραμετροποιήσιμο από την τιμή active set size), για ένα εύλογο χρονικό διάστημα, έτσι ώστε να έχουμε την ομαλότερη μετάβαση και διαπομπή της υπηρεσίας από τον ένα σταθμό βάσης στον άλλο. Αυτός ο μηχανισμός θέλει ιδιαίτερη προσοχή, όπως θα περιγράψουμε παρακάτω.

Άλλοι νέοι μηχανισμοί είναι το admission control, open loop power control και το fast power control. Ο πρώτος μηχανισμός ελέγχει αν μια νέα κλήση θα πρέπει να εξυπηρετηθεί. Αυτός ο έλεγχος κύριος βλέπει αν η νέα κλήση θα ανεβάσει τον θόρυβο στο Node-B πάνω από ένα προκαθορισμένο κατώφλι. Εάν ναι, το η κλήση απορρίπτεται. Εάν όχι τότε ερευνάται αν υπάρχει διαθέσιμος κώδικας, δηλαδή κανάλι, για να εξυπηρετηθεί η κλήση. Ο καθορισμός του κατωφλίου πρέπει να γίνει πολύ προσεκτικά από τον διαχειριστή του δικτύου, ειδάλλως θα υπάρξουν πολλά προβλήματα στο δίκτυο. Οι άλλοι μηχανισμοί έχουν να κάνουν με τον έλεγχο της ισχύος του κινητού τερματικού.

Τέλος, τα δίκτυα UMTS υποστηρίζουν συνεργασία και μετά δίκτυα δεύτερης γενιάς. Έτσι είναι δυνατό να έχουμε διαπομπή από ένα UMTS δίκτυο σε ένα GSM και τανάπαλιν. Υπάρχουν ειδικές παράμετροι που καθορίζουν ποτέ ένα κινητό τερματικό θα αλλάζει πλατφόρμα.

Παρακάτω θα δούμε αναλυτικά πως σχεδιάζεται και βελτιστοποιείται ένα δίκτυο UMTS με παραδείγματα και προσομοιώσεις με το εργαλείο ASTRIX. Επίσης, θα δούμε και στις επιμέρους τεχνικές πολλά στοιχεία για την βέλτιστη σχεδίαση ενός δικτύου. Διότι ναι μεν οι τεχνικές έχουν την έννοια της δυναμικής αλλαγής παραμέτρων, έτσι ώστε να αντιμετωπιστεί μια συμφόρηση, αλλά οι βασικές αρχές μπορούν να εφαρμοστούν και στατικά κατά την σχεδίαση.

19.2.2 Χαρακτηριστικά RF περιβάλλοντος του UMTS

Παρακάτω στο Πίνακα 19-1, βλέπουμε τις ιδιαιτερότητες του RF περιβάλλοντος ενός UMTS δικτύου σε σχέση με το GSM.

	Delay (μs)	Δf_c , MHz	UMTS	GSM
Channel Bandwidth			5 MHz	0,2 MHz
Urban	0,5	0,32	WB	NB/WB
Rural	0,1	1,6	WB	NB
Hilly	3	0,053	WB	WB
Microcellular	< 0,1	> 1,6	NB/WB	NB
Indoor	< 0,01	> 16	NB	NB

Πίνακας 19-1: Χαρακτηριστικά RF περιβάλλοντος για GSM και UMTS

όπου Δf_c σε MHz είναι το εύρος συνοχής, δηλαδή η ελάχιστη διάφορα συχνότητας μεταξύ δυο φέρων σημάτων τα οποία έχουν σημαντικά συσχετισμένες διαλείψεις.

- Χαρακτηρίζουμε ένα κανάλι σαν Narrow Band εφόσον το **RF channel bandwidth** $\ll \Delta f_c$
- Ομοίως χαρακτηρίζουμε ένα κανάλι σαν Wide Band εάν **RF channel bandwidth** $\gg \Delta f_c$

Παρατηρούμε ότι το UMTS θεωρείται σχεδόν πάντα σαν Wide Band σε αντίθεση με το GSM που σχεδόν πάντα θεωρείται Narrow Band. Αυτή η ιδιομορφία θέτει αρκετές ιδιαιτερότητες και προβλήματα στην Ραδιοκάλυψη γενικά. Έτσι δημιουργείται η απαίτηση για υψηλότερα SNR σε σχέση με ένα αντίστοιχο narrow band δίκτυο.

Στον παρακάτω Πίνακα 19-2 μπορούμε να τα RF στοιχεία, του UMTS σε διάφορες υπηρεσίες, σχέση με το DCS 1800 σε υπηρεσία φωνής.

	DCS 1800 / speech	WCDMA/ speech	WCDMA/ 144kbps
Mobile transmission power (dBm)	30	21	24
Receiver sensitivity (dBm)	-108	-123	-116
Interference Margin (dB)	0.0	2.5	2.5
Fast Fade margin (dB)	2.0	2.0	2.0
Antenna gain (dBi)	18.0	18.0	18.0
Body Losses (dB)	3.0	3.0	-
Mobile Antenna gain (dBi)	0.0	0.0	2.0
Maximum path loss (dB)	153.0	155.0	154.0

Πίνακας 19-2: Συγκριτικά RF στοιχεία UMTS σε σχέση με το DCS 1800

19.3 Αρχική σχεδίαση δικτύου

Η αρχική σχεδίαση του δικτύου πρέπει να γίνει με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να μπορεί να εξυπηρετήσει και καλύψει την αρχική κίνηση, να είναι αναβαθμίσιμο.

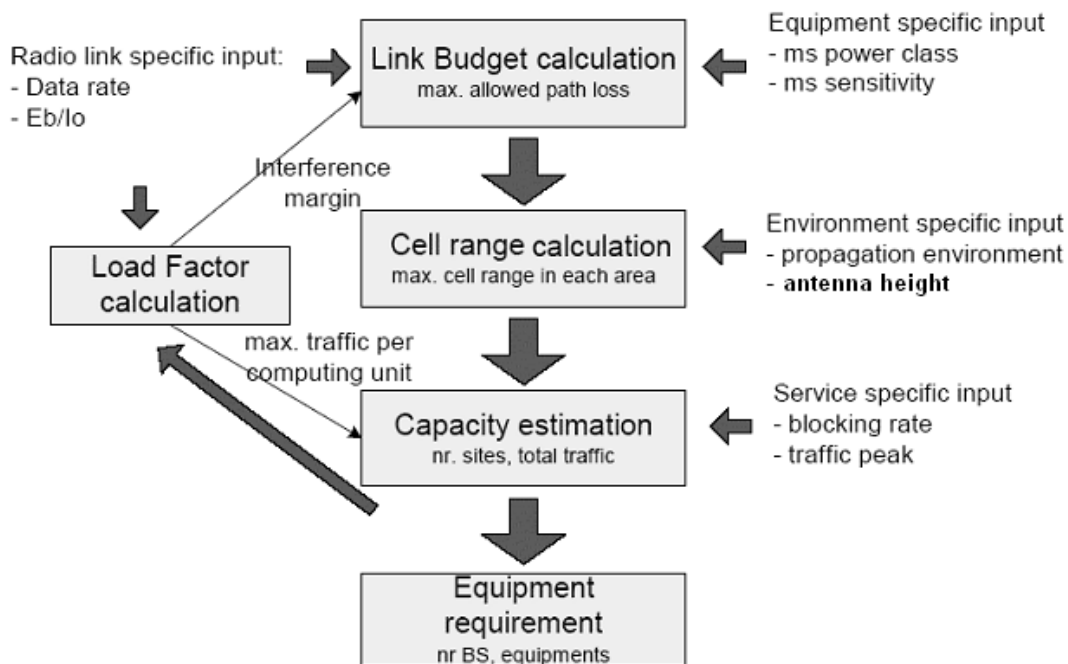
Αρχικός σκοπός είναι να προσδιοριστεί ο τύπος του σταθμού βάσης. Δηλαδή η αρχιτεκτονική που θα χρησιμοποιηθεί. Βέβαια αυτό θα γίνεται σύμφωνα με οικονομικά αλλά και τεχνικά κριτήρια.

Τα τεχνικά κριτήρια τα οποία και θα απασχολήσουν είναι τα παρακάτω:

- Ανάλυση του περιβάλλοντος ραδιοκάλυψης (InDoor – InCar Coverage)
- Ισολογισμός ισχύος σήματος(Uplink and Downlink Link Budget)
- Εκτίμηση της χωρητικότητας του δικτύου, για συγκεκριμένο QoS (Blocking Probability, Throughput requirements)
- Υπολογισμός του αριθμού των σταθμών βάσης και κύψελων για να έχουμε αρχικά πλήρη Ραδιοκάλυψη αλλά και αναβαθμίσιμη τοπολογία.

Μετά από αυτό έχουμε το στάδιο του σχεδιασμού των υψηλότερων ιεραρχικά στοιχείων του δικτύου όπως τα RNC και MSC. Ο σχεδιασμός όμως του κυρίως σταθερού δικτύου δεν έχει ιδιαίτερες διαφορές από αυτό του GSM, όποτε και δεν θα επεκταθούμε σε αυτό το πεδίο.

Συνοπτικά στο παρακάτω Σχήμα 19-2, μπορούμε να δούμε τα στάδια ανάπτυξης του ασύρματου μέρους του δικτύου.



Σχήμα 19-2 : Στάδια ανάπτυξης του ασύρματου δικτύου

19.3.1 Ισολογισμός ισχύος ραδιοκάλυψης UMTS (radio link power budget)

Σε οποιοδήποτε σύστημα κινητών επικοινωνιών η διαδικασία υπολογισμού της ραδιοκάλυψης απαιτεί την επιλογή της μιας εκ των δύο ζεύξεων ως ζεύξη αναφοράς. Επιλέγεται δε η πλέον περιοριστική για το σύστημα, όπως αυτή προκύπτει από την εκτέλεση των απαραίτητων link budgets. Το μέγεθος που αποτελεί το κριτήριο για την επιλογή, είναι οι μέγιστες επιτρεπτές απώλειες διάδοσης (Maximum Path Loss). Στη συνέχεια ορίζονται τα μεγέθη που χρησιμοποιούνται για την εκτέλεση των υπολογισμών.

Τερματικός Σταθμός

- P_t^m : Η εκπεμπόμενη ισχύς
 $P_{r,min}^m$: Η ευαισθησία δέκτη υπό συνθήκες διαλείψεων
 $G_t^m = G_r^m$: Το κέρδος εκπομπής και λήψης

Σταθμός Βάσης

- P_t^{BS} : Η εκπεμπόμενη ισχύς
 $P_{r,min}^{BS}$: Η ευαισθησία δέκτη υπό συνθήκες διαλείψεων
 $G_t^{BS} = G_r^{BS}$: Το κέρδος εκπομπής και λήψης
 G_{div}^{BS} : Το κέρδος από τη διαφορισημότητα κεραίας στο BS
 L_{feeder} : Οι απώλειες τροφοδοσίας του Σταθμού συμπεριλαμβανομένων των απωλειών καλωδίων και συνδετήρων

Επιπλέον Παράμετροι Ζεύξης

- L_{body} : Οι απώλειες λόγω της παρουσίας του ανθρώπινου σώματος (3 dB)
 L_{place} : Οι απώλειες λόγω θέσης του δέκτη,
 $L_{place} = L_{car} = 3dB$

Uplink Budget

Η μέγιστη τιμή των απωλειών διάδοσης υπολογίζεται ως εξής :

$$L_{max}^u = P_t^m + G_t^m - L_{body} - P_{r,min}^{BS} + G_r^{BS} + G_{div}^{BS} - L_{feeder} - L_{place}$$

Downlink Budget

Η μέγιστη τιμή των απωλειών διάδοσης υπολογίζεται ως εξής :

$$L_{max}^d = P_t^{BS} + G_t^{BS} - L_{body} - P_{r,min}^m + G_r^m - L_{feeder} - L_{place}$$

Ο ισολογισμός ισχύος ραδιοκάλυψης, γίνεται προκειμένου να επιλεγθούν οι κεραιές και η τοπολογία, σύμφωνα με τα ασυρματικό περιβάλλον. Δηλαδή μπορούμε να υπολογίσουμε την απολαβή των κεραιών που χρειάζονται για να καλυφθεί μια απόσταση από συγκεκριμένη κλάσης τερματικό και για συγκεκριμένη υπηρεσία. Επίσης, στο στάδιο αυτό λαμβάνονται υπ' όψιν και κάποιοι παράγοντες όπως απώλειες ομοαξονικών καλωδίων, ίχνος θορύβου (noise figure) στον δεκτή, παρεμβολές και άλλα.

Στο UMTS όμως γνωρίζουμε ότι το επίπεδο του θορύβου και των παρεμβολών στο ασύρματο μέσο αυξάνεται, με την αύξηση της τηλεπικοινωνιακής δραστηριότητας στο μέσο. Για αυτό το λόγο παρακάτω θα αναπτύξουμε με μαθηματικούς τύπους τα κριτήρια για να έχουμε ραδιοκάλυψη.

Στο UMTS όσο περισσότεροι είναι οι ενεργοί χρήστες στο σύστημα τόσο πιο μικρή αναμένεται να είναι η εμβέλεια του σταθμού βάσης.

Αρχικά θα ασχοληθούμε με την uplink διεύθυνση.

(i) Uplink Ισολογισμός Ισχύος

Θεωρούμε ότι έχουμε service activity $v=1$

Για να υπολογίσουμε την απαιτούμενη εκπεμπόμενη ισχύ από κινητό τερματικό θα πρέπει να πληρείται η σχέση:

$$\frac{E_b}{N_0} \leq \frac{W}{R_k} \cdot \left(\frac{P_k}{I_{own} - P_k + I_{oth} + N} \right), \kappa = 1, \dots, K_n$$

Όπου K_n ο αριθμός των κινητών τερματικών που είναι ενεργά στο σταθμό βάσης,

$N = N_0 \cdot W = N_f \cdot k \cdot T_0 \cdot W$, με N_f το Noise Figure του συστήματος του δεκτή, k Boltzmann σταθερά και T_0 απόλυτη θερμοκρασία. Για $N_f=1$, $T_0=273+20=293$ K και $N_0=-174$ dBm/Hz και $N = -108.1$ dBm, W το chip rate, R_k ο ρυθμός μετάδοσης bit και p_k η ληφθείσα ισχύ στο σταθμό βάσης από το k τερματικό κινητό.

I_{oth} είναι η ισχύς που λαμβάνει ο σταθμός βάσης από UE που χρησιμοποιούν γειτονικά BS. Μπορούμε να θεωρήσουμε ότι το $I_{oth} = i \cdot I_{own}$, όπου I_{own} η ισχύς που λαμβάνεται από τα UE που χρησιμοποιούν το ίδιο BS.

Δηλαδή να έχουμε επίπεδο σήματος ίσο ή μεγαλύτερο από αυτό που απαιτείται για τον συγκεκριμένο ρυθμό μετάδοσης

Θα θεωρήσουμε σαν ευαισθησία του δέκτη το p_k όταν έχουμε ισότητα.

$$\text{Έτσι } p_k = \frac{1}{1 + \frac{W}{\rho_k \cdot R_k}} \cdot (1 + i) \cdot I_{own} + \frac{1}{1 + \frac{W}{\rho_k \cdot R_k}} \cdot N, \kappa = 1, \dots, \kappa$$

Αθροίζοντας για όλα τα κινητά τερματικά έχουμε:

$$\sum_{k=1}^{K_n} p_k = \sum_{k=1}^{K_n} \frac{1}{1 + \frac{W}{\rho_k \cdot R_k}} \cdot (1 + i) \cdot \sum_{k=1}^{K_n} + \sum_{k=1}^{K_n} \frac{1}{1 + \frac{W}{\rho_k \cdot R_k}} \cdot N$$

Αντιστοίχως, έχουμε και την downlink κατεύθυνση.

Στον παρακάτω Πίνακα 19-3, μπορούμε να δούμε τον ισολογισμό ισχύος για την υπηρεσία φωνής 12.2 kbps για ένα τερματικό με ισχύ 21 dBm.

UMTS UL Link budget example	
TX	
Mobile max power = 0.125W (dBm)	21
Body loss - Antenna gain (dB)	2
EIRP (dBm)	19
RX	
BTS noise density (dBm/Hz) = Thermal noise density + BTS noise figure	-168
RX noise power (dBm) = -168 + 10 * log(3840000)	-102.2
Interference margin (dB)	3
RX interference power (dBm) = 10 * LOG(10^((-102.2+3)/10) - 10^((-102.2/10))	-102.2
Noise & interference (dBm) = 10 * LOG(10^((-102.2)/10) + 10^((-102.2/10))	-99.2
Process gain (dB), 12.2k voice = 10 * log(3840/12.2)	25.0
Required Eb/No for speech (dB)	5
Antenna gain (dBi)	17
Cable and connector losses (dB)	3
Fast fading margin (dB) = slow moving mobile	4
RX sensitivity (dBm)	-129.1
Total available path loss (dB)	148.1
Dimensioning	
Log normal fading margin (dB)	7
Indoor / In-vehicle loss (dB)	0
Soft handover gain (dB)	3
Cell edge target propagation loss (dB)	144.1
Okamura-Hata cell range (km) L=137.4+35.2LOG(R)	1.55

Πίνακας 19-3 : Ισολογισμός ισχύος για υπηρεσία φωνής UMTS

Έτσι μπορούμε να δούμε ότι με κεραία απολαβής 17 dBi και άλλες παραμέτρους που φαίνονται παραπάνω, μπορούμε να επιτύχουμε Ραδιοκάλυψη με απώλειες (radio pathloss) έως 144.1 dB. Αυτό ανάλογα με το περιβάλλον ραδιοδιάδοσης και το μοντέλο που το διέπει, μεταφράζεται σε απόσταση.

Ομοίως, στον παρακάτω Πίνακα 19-4 μπορούμε να δούμε τον ισολογισμό ισχύος για τις υπηρεσίες data 64 kbps και 144 kbps του UMTS.

General Info	Units	Value	
Frequency	MHz	2100	
Chip Rate	Mcps	3,84	
Temperature	K	293	
Boltzman's constant	J/K	1,38E-23	
Service Information	Units	Uplink	Downlink
Bit Rate	kbps	64	144
Receiving End	Units	Uplink	Downlink
Thermal Noise Density	dBm/Hz	-173,93	-173,93
Receiver NF	db	3	6
Interference Margin	dBm/Hz	1,55	3,01
Total Receiver Noise Power	dBm	-103,54	-99,08
Processing Gain	dB	17,78	14,26
Required Eb/No	dB	5	4
Receiver sensitivity	dBm	-116,32	-109,34
RX Antenna Gain	dB	18	0
Cable Losses	dB	4	0
Soft Handover Diversity Gain	dB	3	3
Required Signal Power	dBm	-133,32	-112,34
Transmitting End	Units	Uplink	Downlink
TX power per connection	dBm	21	30
Cable Losses	dB	0	4
TX Antenna Gain	dB	0	18
EIRP	dBm	21	44
Total pathloss	dB	154,32	156,34

Πίνακας 19-4 : Ισολογισμός ισχύος για data 64 kbps και 144 Kbps UMTS

Επίσης ένας σημαντικός παράγοντας που θα πρέπει να εξεταστεί είναι, η αντιστοίχιση Ποσοστού Περιοχής Κάλυψης Κυψέλης (Cell Area Reliability) και Πιθανότητας Οριακής Λαμβανόμενης Ισχύος στα Όρια της Κυψέλης (Cell Edge Reliability). Έτσι, τα δύο πλέον χρησιμοποιούμενα μεγέθη για τον καθορισμό της αξιοπιστίας της ραδιοκάλυψης ενός κυψελωτού συστήματος κινητών επικοινωνιών είναι :

- Cell Edge Reliability
- Cell Area Reliability

Ο πρώτος όρος (Cell Edge Reliability) αναφέρεται στην πιθανότητα η ισχύς του λαμβανόμενου RF σήματος, μετρούμενη στα όρια της κυψέλης, να είναι μεγαλύτερη από την επιθυμητή τιμή κατωφλίου. Ο δεύτερος όρος (Cell Area Reliability) αναφέρεται στην πιθανότητα το λαμβανόμενο RF σήμα να ικανοποιεί την απαιτούμενη τιμή κατωφλίου, μετά την ολοκλήρωση της πιθανότητας στα όρια της κυψέλης σε όλη την περιοχή της κυψέλης. Αποδεικνύεται ότι για δεδομένο περιβάλλον διάδοσης, οι δύο όροι σχετίζονται ντετερμινιστικά, μέσω της σχέσης :

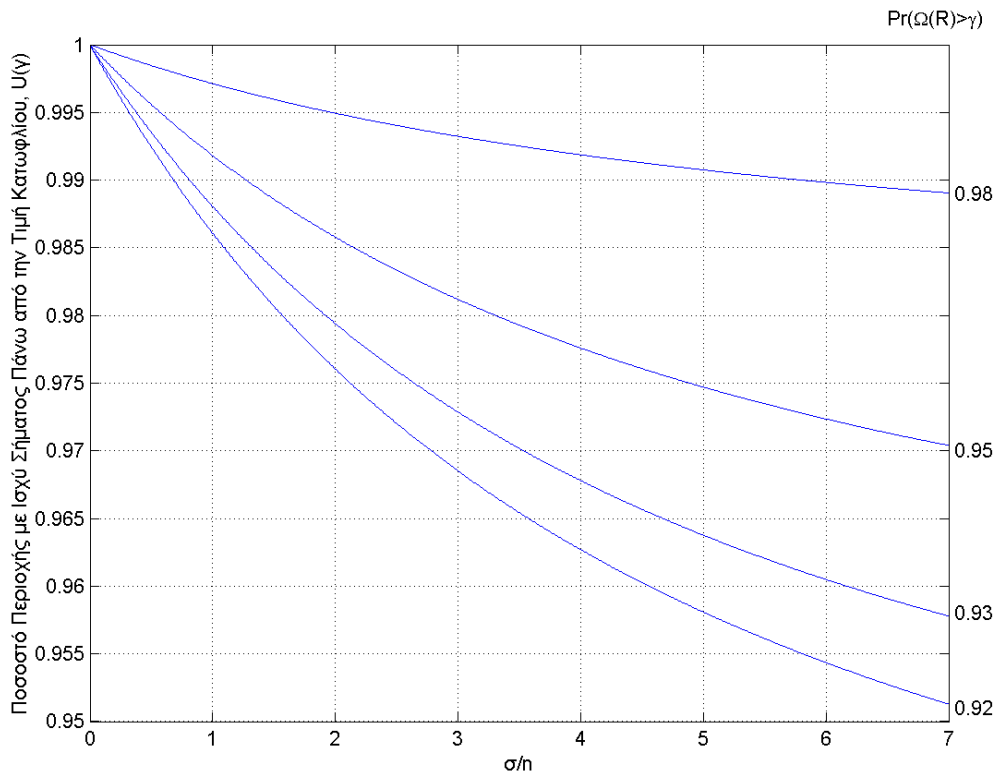
$$U(\gamma) = \frac{1}{2} \left[1 - \operatorname{erf}(a) + \exp\left(\frac{1-2ab}{b^2}\right) \left(1 - \operatorname{erf}\left(\frac{1-ab}{b}\right) \right) \right]$$

όπου,

$$a = \frac{\gamma - P_r(R)}{\sigma\sqrt{2}} \quad \text{και} \quad b = \frac{10n}{\sigma \ln 10 \sqrt{2}}$$

- $U(\gamma)$: Το ποσοστό της περιοχής κάλυψης (%)
- γ : Η τιμή κατωφλίου (dBm)
- $P_r(R)$: Η λαμβανόμενη ισχύς σε απόσταση R (dBm)
- n : Ο παράγοντας εξασθένισης
- σ : Η τυπική απόκλιση σε dB

Η θεώρηση αυτή προϋποθέτει ότι οι απώλειες διάδοσης ακολουθούν μια εκθετική σχέση με παράγοντα απωλειών διάδοσης n και τυπική απόκλιση σ . Παρατηρούμε την εξάρτηση λοιπόν από τον παράγοντα σ/n . Στο Σχήμα 19-2 απεικονίζεται το ποσοστό της περιοχής κάλυψης και η πιθανότητα η λαμβανόμενη ισχύς στα όρια της κυψέλης να είναι μεγαλύτερη από την επιθυμητή τιμή κατωφλίου, για διαφορετικές τιμές του λόγου σ/n . Να τονίσουμε ότι με την αύξηση του Cell Area Reliability έχουμε μείωση της ακτίνας της κυψέλης. Με δεδομένη την επιθυμητή Cell Area Reliability μπορούμε να υπολογίσουμε την απαραίτητη Cell Edge Reliability και συνεπώς και την προσδοκώμενη ακτίνα κάλυψης. Το εύρος των τιμών του λόγου σ/n είναι από 0 ως 7, θεωρώντας ότι καλύπτουμε όλες σχεδόν τις περιπτώσεις διάδοσης, αφού η τυπική απόκλιση σ κυμαίνεται από 0 ως 14dB και ο συντελεστής απωλειών διάδοσης από 2 (free space loss) ως 5.



Σχήμα 19-2 : Cell Area Reliability και Cell Edge Reliability

Από το Σχήμα 19-2 παρατηρούμε ότι για Cell Edge Reliability 95%, η αντίστοιχη Cell Area Reliability είναι μεγαλύτερη του 97% σε όλες τις μορφές περιβάλλοντος διάδοσης. Επίσης για Cell Edge Reliability 98% πρακτικά επιτυγχάνεται Cell Area Reliability μεγαλύτερη του 99%.

Κατά τον υπολογισμό της ραδιοκάλυψης χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές 95% και 98% για το Cell Edge Reliability ώστε να πληρούνται οι όροι της προκήρυξης για το ποσοστό της περιοχής κάλυψης.

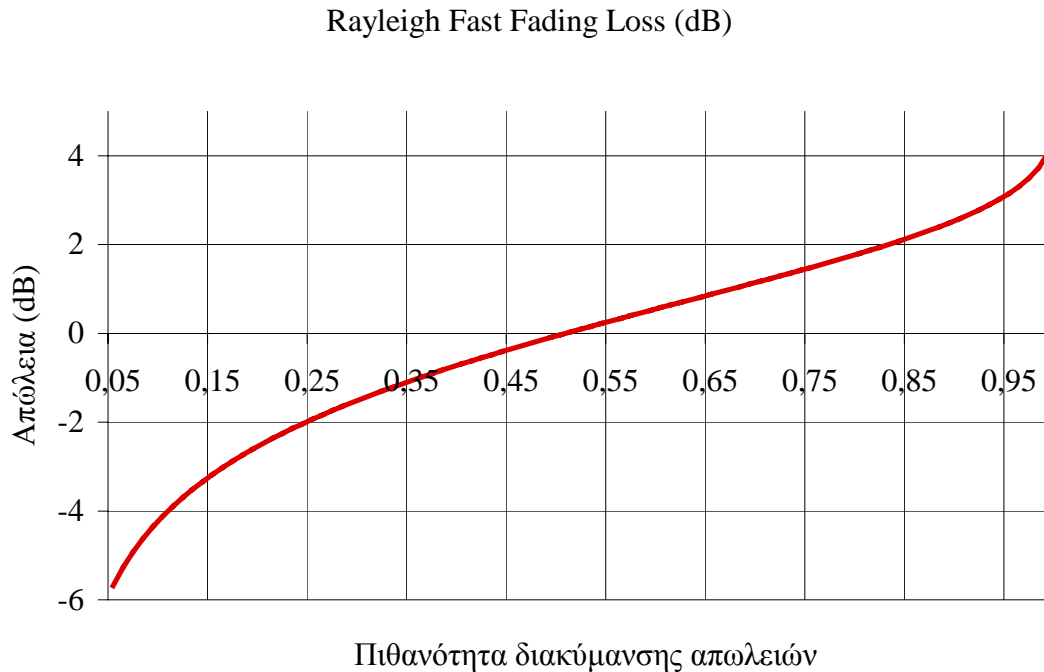
Επιπλέον των παραπάνω έχει υπερτεθεί και ένα περιθώριο εμπιστοσύνης της τάξης των 3dB ώστε να μηδενιστεί πρακτικά η πιθανότητα έλλειψης ραδιοκάλυψης σε εξαιρετικά δυσμενείς συνθήκες διάδοσης.

Μια άλλη παράμετρος είναι, η χρονική διακύμανση σήματος, είναι η διακύμανση που παρουσιάζει το επίπεδο ισχύος του σήματος σαν συνάρτηση του χρόνου, το οποίο παρατηρείται από ένα σταθερό δέκτη με όλες τις άλλες φυσικές παραμέτρους του περιβάλλοντος επίσης σταθερές. Πιο συγκεκριμένα, η χρονική μεταβολή της ισχύος του σήματος συμβαίνει μόνο λόγω χρονικά εξαρτώμενων μεταβολών στην ατμόσφαιρα, κυρίως αλλάζοντας την διαθλαστικότητα της. Αυτές οι αλλαγές επιδρούν στην αποπόλωση του λαμβανόμενου σήματος. Η ατμοσφαιρική αυτή εξασθένιση είναι συνάρτηση του χρόνου, της ημέρας, της εποχής και της κλιματολογικής ζώνης. Λόγω όμως της πολύ χαμηλής συχνότητας μετάδοσης του σήματος όλες οι μεταβολές της διαθλαστικότητας της ατμόσφαιρας πολύ λίγο επηρεάζουν τη ζεύξη.

Τέλος, σαν χωρική διακύμανση σήματος ορίζουμε την μεταβολή της ισχύος του σήματος σε σχέση με την μεταβολή της τοποθεσίας. Μεταβολή της τοποθεσίας εννοούμε κάθε αλλαγή της θέσης του δέκτη σε σχέση με κάθε φυσικό στοιχείο του περιβάλλοντος. Γενικά η χωρική διακύμανση του σήματος είναι μια μικρής κλίμακας (small – scale) εξασθένιση η οποία δημιουργείται από τέσσερις παράγοντες:

- A) Πολυδιαδρομική (multipath) διάδοση
- B) Ταχύτητα κινητού
- Γ) Ταχύτητα των αντικειμένων στον περιβάλλοντα χώρο
- Δ) Εύρος μετάδοσης του σήματος

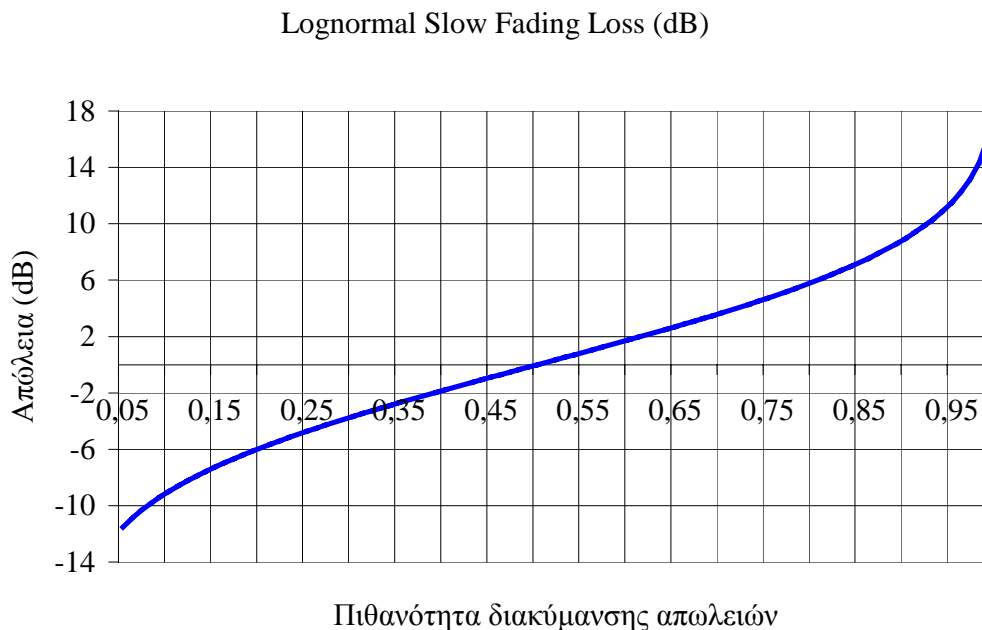
Η μικρής κλίμακας εξασθένιση μπορεί να χωριστεί σε δύο βασικές κατηγορίες, στην γρήγορη εξασθένιση (fast fading) και την αργή εξασθένιση (slow fading). Η γρήγορη εξασθένιση προκαλεί μεταβολή της συνολικής εξασθένισης γύρω από την μέση τιμή εξασθένισης που προβλέπεται από τα χαρακτηριστικά της ζεύξης. Η μεταβολή αυτή προσεγγίζεται από μια καμπύλη Rayleigh και παρουσιάζεται στο ακόλουθο γράφημα. Στο Διάγραμμα 19-1 αυτό παριστάνεται η επιπλέον τιμή απωλειών που πρέπει να προσθέσουμε στην μέση τιμή ώστε οι απώλειες της ζεύξης να είναι μικρότερες από αυτή την τιμή με πιθανότητα την αντίστοιχη του οριζόντιου άξονα.



Διάγραμμα 19-1 : Πιθανότητα κάλυψης σε σχέση με την γρήγορη Rayleigh εξασθένιση

Από θεωρητικούς υπολογισμούς με βάση τα στοιχεία λειτουργίας του συστήματος UMTS και εμπειρικά, στατιστικά δεδομένα καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι οι γρήγορης διακύμανσης απώλειες δεν επηρεάζουν σημαντικά το σύστημα.

Η αργή εξασθένιση είναι αυτή που επηρεάζει καθοριστικά τις συνολικές απώλειες που θα έχουμε. Η αργή εξασθένιση μεταβάλλει την τιμή της γύρω από την μέση τιμή προσεγγίζοντας μια λογαριθμοκανονική κατανομή (lognormal) Διάγραμμα 19-2.



Διάγραμμα 19-2 : Πιθανότητα κάλυψης σε σχέση με την αργή εξασθένιση

Από την παραπάνω γραφική παράσταση, μπορούμε να εξάγουμε συμπεράσματα για το ποσοστό της περιοχής που καλύπτεται. Η μελέτη που έχουμε πραγματοποιήσει απεικονίζει την περιοχή κάλυψης για το 50% του χρόνου και το 50% του τόπου. Αυτό σημαίνει ότι στο όριο της περιοχής κάλυψης θα έχουμε σήμα ικανό ώστε η ζεύξη να καθίσταται δυνατή για το 50% των θέσεων. Αν όμως πάρουμε μια περιοχή κάλυψης που το σήμα να είναι περίπου 11 dB ισχυρότερο τότε στο όριο αυτής της περιοχής θα έχουμε κάλυψη για το 95% των θέσεων και η περικλειόμενη από αυτό το όριο περιοχή θα καλύπτεται με πιθανότητα 98,5%.

19.3.2 Επιλογή και διαμόρφωση εξοπλισμού σταθμού βάσης

Η αρχική επιλογή και διαμόρφωση του εξοπλισμού ενός σταθμού βάσης θα πρέπει να πλήρη τα εξής στοιχεία:

- i) Κάλυψη των τηλεπικοινωνιακών αναγκών βάσει της αρχικής διαστασιοποίησης
- ii) Επαρκή αρχική Ραδιοκάλυψη
- iii) Οικονομική λύση
- iv) Εύκολη αναβάθμιση πάνω στο ήδη υπάρχοντα εξοπλισμό

Βέβαια είναι φυσικό ότι η διαμόρφωση του εξοπλισμού διαφέρει ανάλογα τον τύπο και την ιεραρχία του σταθμού βάσης (pico,micro,macro)

19.3.2.1 Σχήμα Sectorization

Το ποιο σχήμα sectorization που θα ακολουθηθεί βασίζεται στο ρόλο και στην ιεραρχία του σταθμού βάσης, στο κόστος, την εκτιμηθείσα κίνηση που πρέπει να καλύψει ο σταθμός βάσης της Διαστασιοποίησης και τέλος και ο ποιος βασικός παράγοντας η παρεμβολές από γειτονικούς σταθμούς βάσης.

Τα σχήματα που μπορεί να ακολουθηθούν είναι τα κάτωθι:

- 1 sector or omni
Microcell or low-capacity macrocell (UMTS coverage)
- 2 sectors
Sectored microcell or macrocell providing roadside coverage
- 3 sectors
Standard macrocell configuration providing medium capacity
- 4-5 sectors Not commonly used but may be chosen to support specific traffic
- 6 sectors
High-capacity macrocell configuration

Στην πράξη αυτό που είναι το βέλτιστο ως προς την χωρητικότητα – εξάλειψη παρεμβολών και ως προς το κόστος είναι το σχήμα 3 sectors.

Στον παρακάτω Πίνακα 19-5, μπορούμε να δούμε κάποιους συνδυασμούς κεραιών και σχημάτων sectorisation , καθώς και τις επιπτώσεις στο δίκτυο.

Scheme of sectorisation	Antenna 3dB beamwidth	Inter-cell interference ratio	Soft handover overhead
1 sector	360 ⁰ , 6.0 dBi	55%	30%
2 sector	90 ⁰ , 16.5 dBi	60%	40%
3 sectors	65 ⁰ , 18.5 dBi	65%	40%
4 sectors	65 ⁰ , 18.5 dBi	75%	40%
6 sectors	33 ⁰ , 21.0 dBi	85%	40%

Πίνακας 19-5: Συνδυασμοί κεραιών και σχημάτων sectorisation

19.3.3.2 Wideband Amplifier

Υπάρχουν διάφορες αρχιτεκτονικές που μπορούν να ακολουθηθούν ως προς την χρησιμοποίηση των ενισχυτών ισχύος. Αυτό παίζει σημαντικό ρόλο στο κόστος αλλά και ταυτόχρονα στην χωρητικότητα του σταθμού βάσης.

Οι αρχιτεκτονικές για τον ενισχυτή RF που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε είναι οι ακόλουθες:

- Conventional 1 + 1 + 1

20 Watts per sector 12 Watts for CPICH and CCHs

- ROC 1 + 1 + 1

20 Watts shared between 3 sectors 4.5 Watts for CPICH and CCHs

- ROC 1 + 1 + 1

40 Watts shared between 3 sectors 9 Watts for CPICH and CCHs

Από τις παραπάνω τοπολογίες η conventional έχει έως 3 φορές μεγαλύτερη χωρητικότητα από τις άλλες δυο.

Γενικά σε κανονικούς macro σταθμούς βάσεις, προτιμάτε η conventional η χρήση αφού παρέχει μεγάλη χωρητικότητα. Φυσικά το κόστος της υλοποιήσεως είναι σχεδόν 3πλασιο σε σχέση με την ROC 20 Watt. Αντιθέτως, σε σταθμούς pico, micro χρησιμοποιείται η τοπολογία ROC 1+1+1 20 Watt, που είναι επαρκής και η οικονομικότερη λύση.

Στον παρακάτω Πίνακα 19-6, με τη βοήθεια του ASTRIX κάνουμε σύγκριση της downlink χωρητικότητας σε σχέση με το wideband amplifier που χρησιμοποιείται. Θεωρούμε ότι έχουμε για όλους τους χρηστές path loss 155 dB.

BS wideband amplifier	Service	Downlink capacity per BS	Uplink Load	Downlink Load
Conventional 1 + 1 + 1 - 20 Watt per sector (12 W to all CPICH and CCCH)	12.2 kbps speech	202 users	65.5%	67.8%
	64/64 kbps data	27 users	42.9%	64.5%
	64/144 kbps data	13 users	2.1%	64.5%
	64/384 kbps data	6 users	0.9%	64.5%
ROC 1 + 1 + 1 - 20 Watt shared per sector (4.5 W to all CPICH and CCCH)	12.2 kbps speech	56 users	18.0%	17%
	64/64 kbps data	7 users	11.0%	15%
	64/144 kbps data	3 users	0.5%	15%
	64/384 kbps data	1 users	0.2%	15%
ROC 1 + 1 + 1 - 40 Watt shared per sector (9 W to all CPICH and CCCH)	12.2 kbps speech	95 users	30.7%	29%
	64/64 kbps data	12 users	19.0%	26.1%
	64/144 kbps data	6 users	0.9%	26.1%
	64/384 kbps data	2 users	0.4%	26.1%

Πίνακας 19-6: Σύγκριση της downlink χωρητικότητας σε σχέση με το wideband amplifier που χρησιμοποιείται

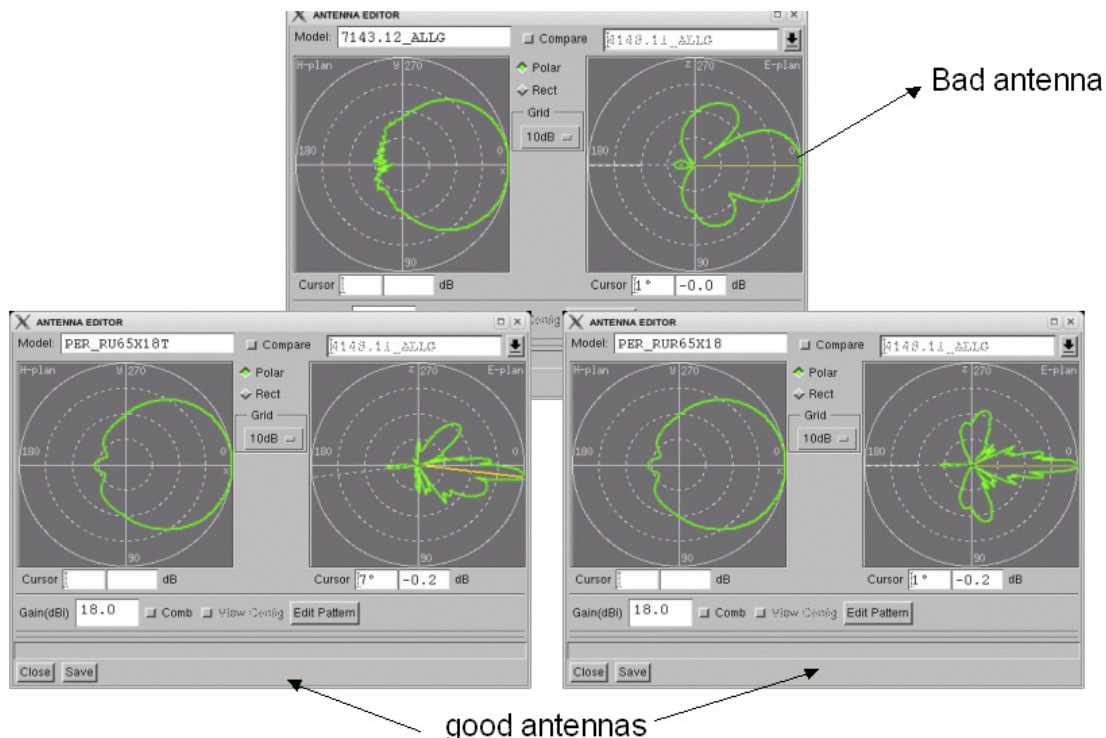
19.3.2.2 Επιλογή κεραιών

Η επιλογή της κεραιάς είναι πολύ σημαντική σε ένα δίκτυο UMTS. Η σωστή επιλογή κεραιάς μπορεί να αυξήσει σημαντικά την χωρητικότητα του δικτύου και ταυτόχρονα να μεγαλώσει την εμβέλεια ραδιοκάλυψης.

Τα κριτήρια για την επιλογή μιας κεραιάς βασίζεται στο σχήμα sectorization. Έτσι τα βασικά στοιχεία που θα πρέπει να έχει μια καλή κεραιά είναι:

- i) υψηλή απολαβή
- ii) χαμηλού επιπέδου υπό-λοβούς
- iii) υψηλό λόγο Front to Back F/B
- iv) υψηλό λόγο Front to Side F/S
- v) δυνατότητα ρυθμιζόμενου ηλεκτρικού down-tilt

Με την χρήση μιας τέτοιας κεραιάς αυξάνεται η χωρητικότητα για δυο κυρίως λόγους. Διότι επιτυγχάνουμε να έχουμε το ίδιο επίπεδο SNR στο δεκτή του σταθμού βάσης με πολλή χαμηλότερη εκπεμφθείσα ισχύ από το UE. Αυτό οφείλεται στο ισολογισμό ισχύος που είναι καλύτερος, λόγο υψηλής απολαβής, αλλά και στο λιγότερο θόρυβο που εισέρχεται στο δέκτη του σταθμού βάσης λόγω των άλλων χαρακτηριστικών. Στο παρακάτω Σχήμα 19-3 μπορούμε να δούμε την βέλτιστη επιλογή μιας κεραιάς αναλύοντας τα πολικά διαγράμματα E και H plane μιας κεραιάς, Σχήμα 19-3.

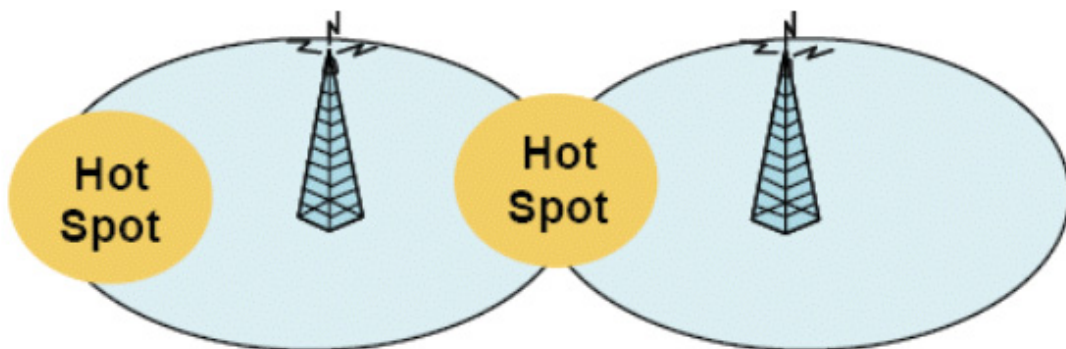


Σχήμα 19-3: Πολικά διαγράμματα κεραιών UMTS

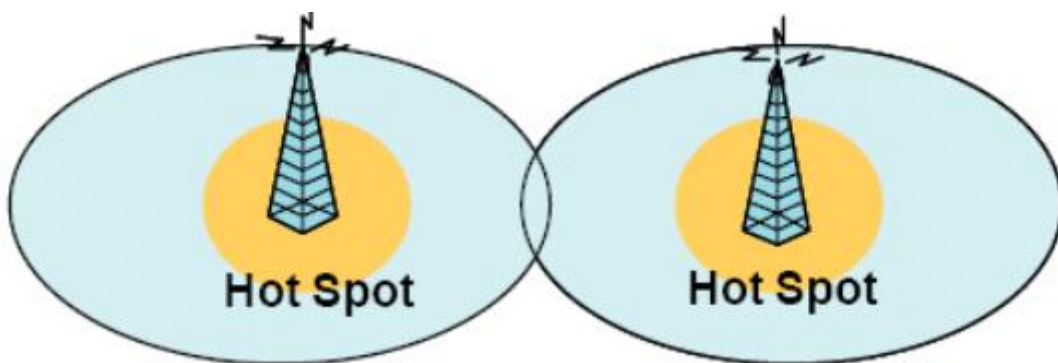
19.3.2.3 Σημείο τοποθέτησης σταθμού βάσης

Το σημείο που θα τοποθετηθεί ένας σταθμός βάσης θα πρέπει να επιλεγεί πολύ προσεκτικά. Θα πρέπει να είναι όσο το δυνατό πιο κοντά στο σημείο που αναμένεται να έχουμε την μεγαλύτερη πυκνότητα χρηστών (hot spot) που πρόκειται να εξυπηρετήσει ο σταθμός βάσης. Αυτό φαίνεται ξεκάθαρα στα Σχήματα 19-4 και 19-5. Επιδιώκουμε να είναι ο σταθμός βάσης πιο κοντά στο σημείο συνωστισμού διότι έτσι χρειαζόμαστε λιγότερη ισχύ έτσι ώστε να εξυπηρετήσουμε τις διάφορες υπηρεσίες. Έτσι έχουμε μεγαλύτερη διαθεσιμότητα σε ισχύ, στην downlink κατεύθυνση, έτσι ώστε να εξυπηρετήσουμε περισσότερες κλήσεις.

Επίσης, το σημείο δεν θα πρέπει να βρίσκεται σε υπερβολικά ψηλό σημείο, π.χ λόφους ή βουνά, ειδικά για κάλυψη πυκνοκατοικημένων πόλεων, διότι το μόνο που θα προσφέρει ένας τέτοιος σταθμός είναι να παρεμβάλλει όλο το δίκτυο και ελαττώνει την χωρητικότητα του. Είναι σημαντικό να τονίσουμε ότι στο UMTS θέλουμε ένας σταθμός βάσης, να είναι όσο το δυνατόν πιο απομονωμένος από τον άλλο σταθμό βάσης.



Σχήμα 19-4: Μικρή χωρητικότητα δικτύου και κακής ποιότητας Ραδιοκάλυψη (λάθος επιλογή σημείου του σταθμού βάσης)

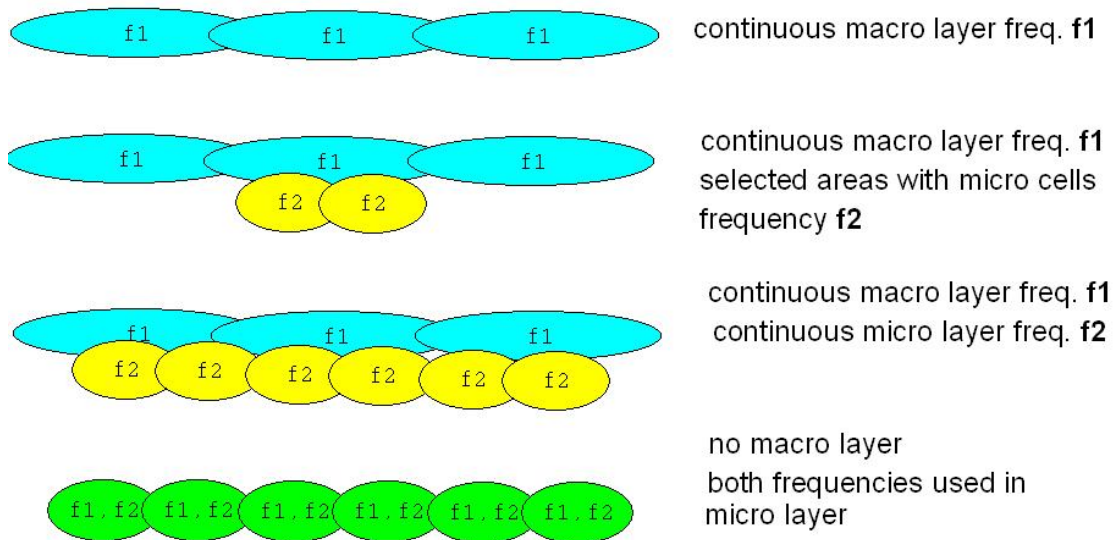


Σχήμα 19-5: Βέλτιστη χωρητικότητα δικτύου και καλής ποιότητας Ραδιοκάλυψη (σωστή επιλογή σημείο του σταθμού βάσης στο κέντρο του hot spot)

19.3.3 Δομή Ιεραρχίας στους σταθμούς βάσης

(Hierarchical Cell Structure HCS)

Στο UMTS μπορούμε να ακολουθήσουμε αρχιτεκτονική με διαφορετικής ιεραρχίας σταθμούς βάσης. Αυτό παρέχει πολλά πλεονεκτήματα στη απόδοση του δικτύου. Επίσης βγάζει σε πολλές περιπτώσεις βγάξει από το αδιέξοδο τον σχεδιαστή του δικτύου. Για να είναι βέλτιστη η χρήση του HCS θα πρέπει το δίκτυο να έχει στην διάθεση του τουλάχιστον 2 carrier. Το ένα carrier θα απονείμει στα κανονικά cell και το άλλο στα cell διαφορετικής κατηγορίας (micro,macro) Στο παρακάτω Σχήμα 19-6, μπορούμε να δούμε 4 διαφορετικές αρχιτεκτονικές.



Σχήμα 19-6: Διαφορετικά σχήμα HCS

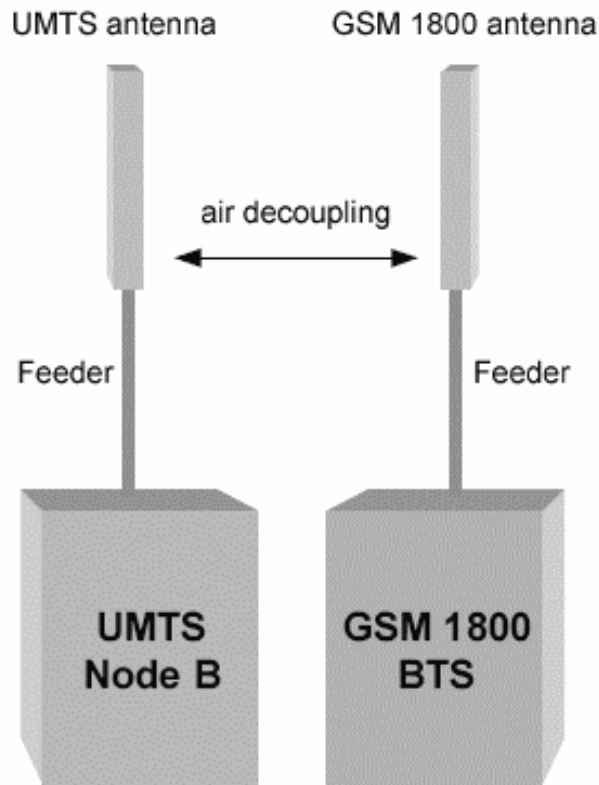
19.3.4 Συγκατοίκηση UMTS – GSM (UMTS – GSM co-sitting)

Η συγκατοίκηση ενός σταθμού UMTS και GSM είναι σχεδόν πάντα επιβεβλημένη, διότι και η θέση για την τοποθέτηση σταθμού βάσης είναι δυσéρευτη, αλλά και γιατί το σημείο τοποθέτησης θα έχει μάλλον επιλεχτεί με κριτήρια για την βέλτιστη ραδιοκάλυψη του GSM δικτύου, που τις περισσότερες φορές καλύπτουν και τις απαιτήσεις του UMTS. Επίσης το κόστος του ενοικίου για την απόκτηση της θέσης είναι ένας σημαντικός παράγοντας. Για να είναι όμως η συγκατοίκηση “ειρηνική”, θα πρέπει να τηρηθούν κάποιιοι κανόνες σε αυτήν. Πιο συγκεκριμένα θα πρέπει οι κεραιές του συστήματος GSM 900 – DCS 1800 να έχουν επαρκεί RF απομόνωση από τις κεραιές του UMTS. Στο παρακάτω Πίνακα 19-7 παραθέτουμε τις απαιτήσεις έτσι όπως προδιαγράφονται.

System specification requirements	UMTS Tx to GSM900 Rx (dB)	UMTS Tx to GSM1800 Rx (dB)	GSM900/1800 Tx to UMTS Rx (dB)
Spurious emissions and intermodulation products	34	34	90 (39 for BTS R99 or later)
Blocking	37	45	58

Πίνακας 19-7: Προδιαγραφές RF απομόνωσης συστήματος GSM 900 – DCS 1800 – UMTS

Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε δυο διαφορετικές μεθόδους συγκατοίκησης. Η πρώτη είναι με κοινή dual (GSM-UMTS) ή tri-band κεραία (GSM-DCS-UMTS). Με αυτήν την λύση έχουμε διακριτικά συστήματα κεραιών τα οποία δεν χρειάζονται μεγάλους ιστούς. Από την άλλη όμως δεν παρέχουν ικανοποιητική απομόνωση μεταξύ των διαφορετικών τηλεπικοινωνιακών συστημάτων. Αυτό οδηγεί στην χρήση ακριβών φίλτρων που εισάγουν και επιπρόσθετες απώλειες. Έτσι η ελλιπής απομόνωση και οι επιπρόσθετες απώλειες οδηγούν σε μείωση της χωρητικότητας του συστήματος καθώς και σε αύξηση του τελικού κόστους.

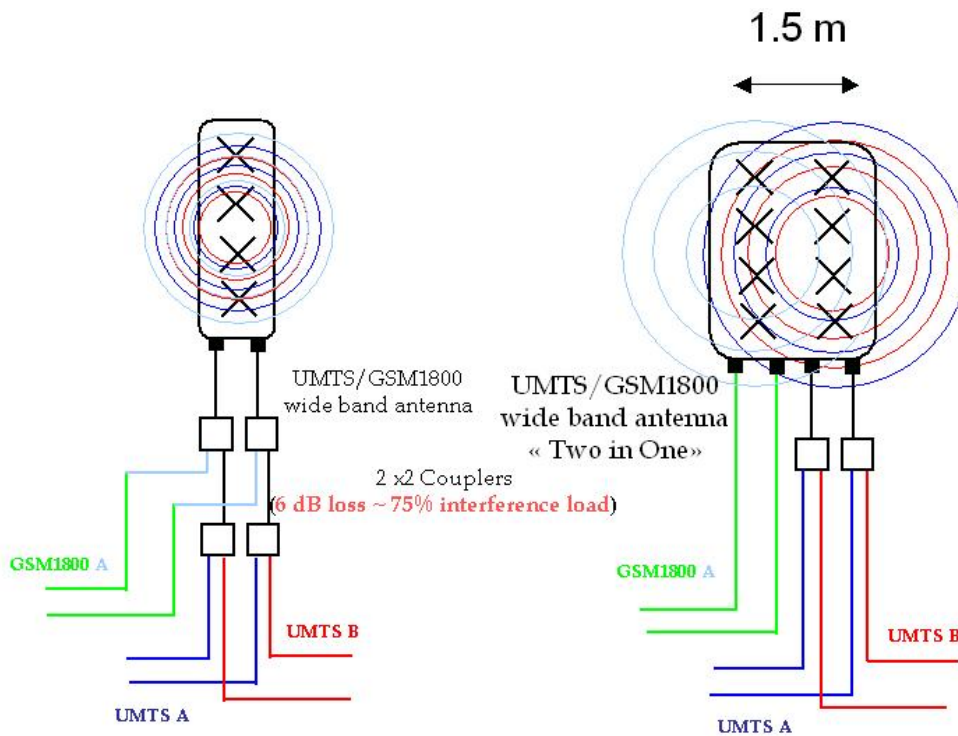


Σχήμα 19-7 : Χωρική απομόνωση

Η δεύτερη λύση είναι η χρησιμοποίηση διαφορετικών κεραιών σε επαρκή απόσταση ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή απομόνωση. Αυτή η διάταξη απαιτεί να υπάρχει χώρος στον ιστό που θα γίνει η συγκατοίκηση, αλλά δεν χρειάζεται επιπλέον φίλτρα.

Στην πράξη προτιμάται η δεύτερη λύση, όπου υπάρχει ευχέρεια χώρου στον ιστό.

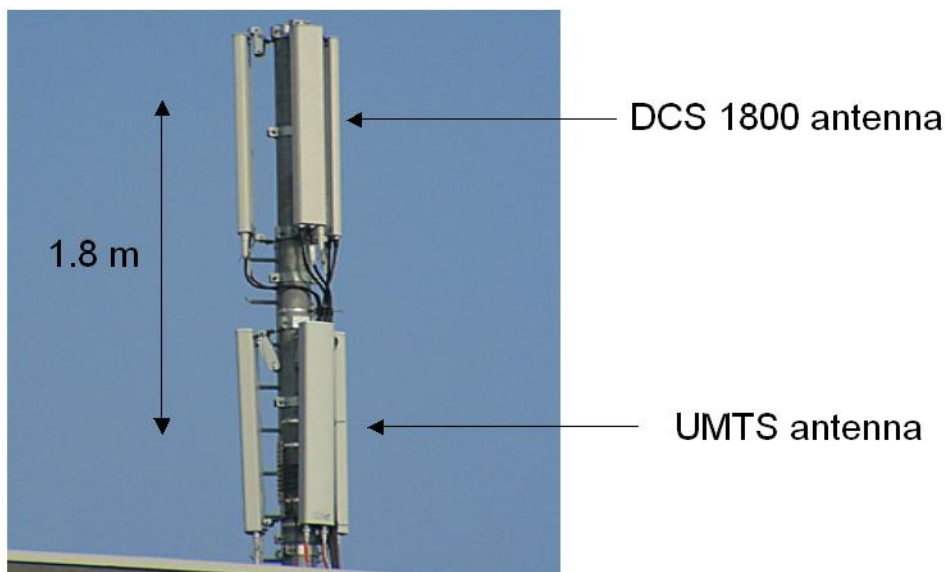
Στο παρακάτω Σχήμα 19-8 μπορούμε να δούμε την δυο διαφορετικές τοπολογίες.



Σχήμα 19-8: Δυο διαφορετικές τοπολογίες συγκατοίκησης συστημάτων DCS 1800 και UMTS

Όπως παρατηρούμε από το Σχήμα 19-8 στην κοινή dual band κεραία έχουμε λόγο των couplers ένα insertion loss της τάξεως των 6 dB. Αυτό μεταφράζεται σε ένα interference load 75%, που επιβαρύνει σοβαρά την χωρητικότητα του δικτύου.

Στο παρακάτω Σχήμα 19-9, βλέπουμε μια φωτογραφία από πραγματική εγκατάσταση συγκατοίκησης DCS 1800 και UMTS συστήματος σε κεραία της COSMOTE. Εδώ βλέπουμε ότι έχει προτιμηθεί κατακόρυφη τοποθέτηση των κεραιών, σε απόσταση 1.8 μέτρων. Αυτή η απόσταση παρέχει μια απομόνωση γύρω στα 42 dB.



Σχήμα 19-9: UMTS και DCS 1800 κεραία της COSMOTE

19.4 Διαδικασία Pilot Pre-planning (No traffic – No Monte-Carlo)

Αφού έχουμε αποφασίσει για την διαμόρφωση του σταθμού βάσης, με τα στοιχεία της αρχικής διαστασιοποίησης και του ισολογισμού ισχύος, τώρα έχουμε την θεμελιώδη εργασία του Pilot Pre-planning. Συγκεκριμένα με την βοήθεια του radio planning tool ρυθμίζουμε σε κάθε σταθμό βάσης την ισχύ του Common Pilot Channel (CPICH). Η ανάθεση ισχύος θα πρέπει να γίνει πολλή προσεκτικά και αν γίνεται ανά σταθμό βάσης. Είναι σημαντικό να επιλέξουμε την βέλτιστη ισχύ στο CPICH, διότι αν βάλουμε μεγαλύτερη ισχύ από την ιδανική δημιουργούμε παρεμβολές σε UE που χρησιμοποιούν γειτονικούς σταθμούς βάσης. Επίσης αυτή η επιπλέον ισχύ που έχει απονεμηθεί στο CPICH είναι απώλεια ισχύος από το wideband ενισχυτή, η οποία θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για να εξυπηρετήσει μια υπηρεσία. Από την άλλη μεριά αν θέσουμε ελλιπή ισχύ στο σταθμό βάσης αυτός δεν θα αξιοποιεί στο έπακρο τους πόρους του.

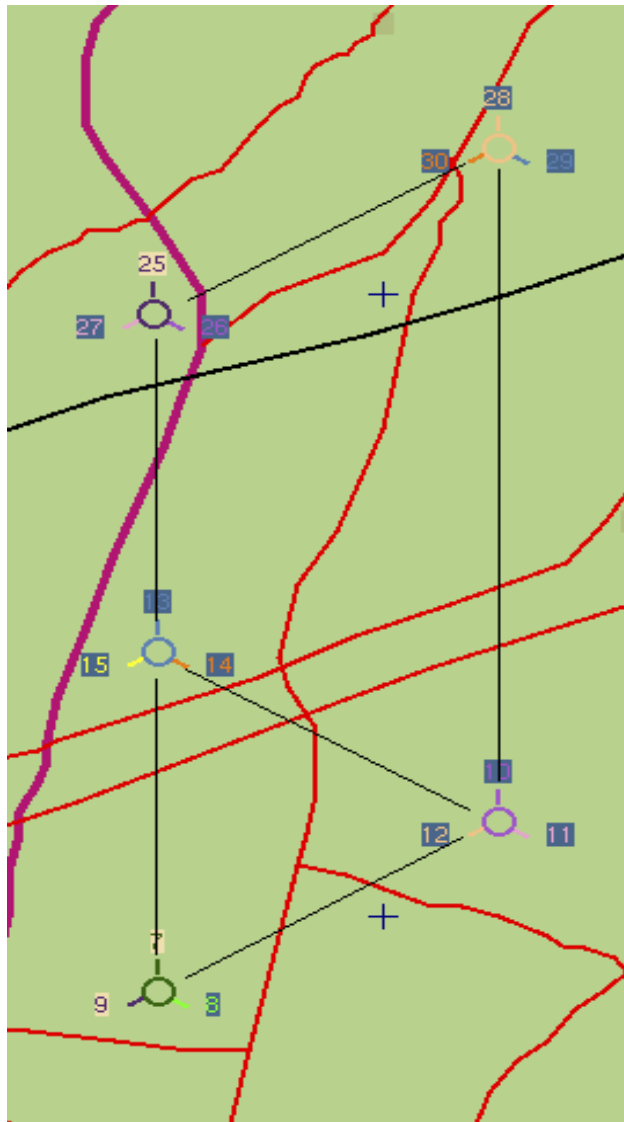
Επίσης στην φάση του Pilot Pre-planning ο σχεδιαστής εκτός από την βελτίωση ισχύ που πρέπει να αναθέσει στο CPICH, καθορίζει και το down-tilt των κατευθυντικών κεραίων. Η χρήση του radio planning tool γίνεται χωρίς να εφαρμόζουμε κίνηση στο σύστημα. Το μόνο που ελέγχει ο σχεδιαστής είναι τις περιοχές κυριαρχίας όπως υπολογίζονται από το radio planning tool με τα στοιχεία που δίνει.

Κύριος στόχος του σχεδιαστή είναι να επιτύχει ξεκάθαρες περιοχές κυριαρχίας, με ομοιόμορφη κατανομή και μέγεθος. Μια τέτοια εικόνα εξασφαλίζει ομοιόμορφη κατανομή χρηστών κατά μήκος του δικτύου και ελαχιστοποίηση των παρεμβολών. Επίσης, μειώνεται ο αριθμός του active set δηλαδή του αρμού των σταθμών βάσης που συμμετέχουν ταυτόχρονα κατά την διάρκεια ενός soft handover και ο οποίος γενικά θα πρέπει να είναι μικρός.

Όλα τα παραπάνω επιτυγχάνονται με :

- i) Μετατόπιση θέσης του σταθμού βάσης όπου αυτό είναι εφικτό προκειμένου να προσαρμόσουμε σε τυχόν ιδιομορφίες του περιβάλλοντος (φυσικά εμπόδια, κτίρια) που επηρεάζουν σημαντικά την μορφή της περιοχής κυριαρχίας.
- ii) Μεταβολή της κατεύθυνσης και του downtilt της κεραίας. Για αυτό ο σχεδιαστής θα πρέπει να έχει εισάγει στο radio planning tool λεπτομερή και ακριβή στοιχεία του πολικού διαγράμματος της κεραίας που χρησιμοποιεί.
- iii) εύρεση της βέλτιστης ισχύος CPICH.

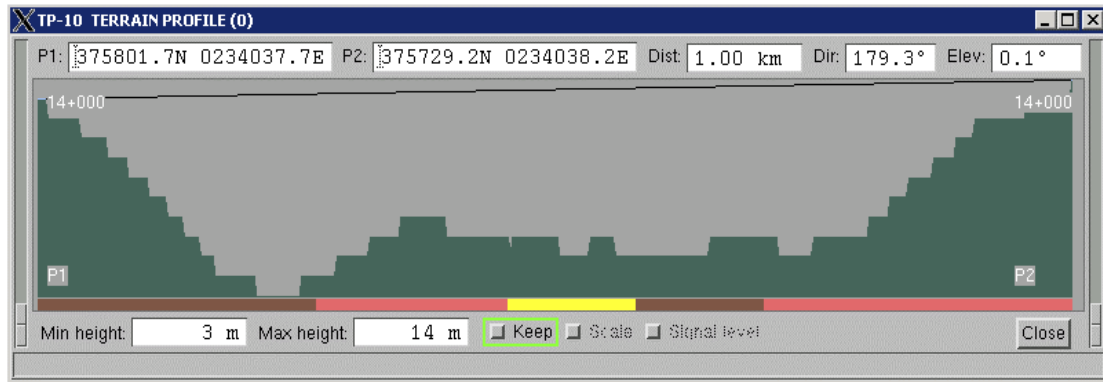
Στο παρακάτω Σχήμα 19-10, μπορούμε να δούμε τους κανόνες έτσι ώστε να έχουμε το βέλτιστη κατεύθυνση στις κατευθυντικές κεραιές του σταθμού βάσης.



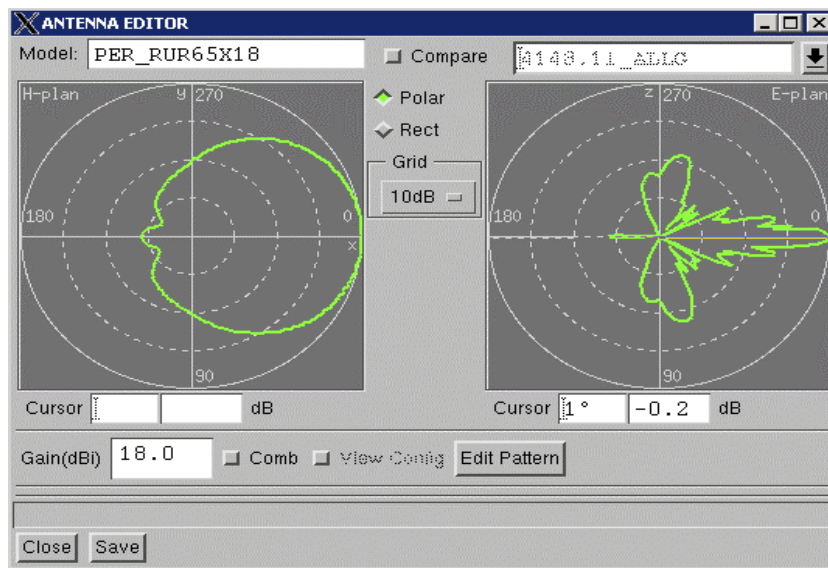
Σχήμα 19-10: Παράδειγμα βέλτιστου προσανατολισμού κατευθυντικών κεραιών

Ο βασικός κανόνας για την σωστή κατεύθυνση που θα πρέπει να κοιτάει μια κεραία είναι το σημείο hotspot (σημείο μεγάλης πυκνότητας χρηστών), αν υπάρχει, αλλά ταυτόχρονα να μην βλέπει κύριο λοβό γειτονικού σταθμού βάσης. Όπως βλέπουμε στο παραπάνω Σχήμα 19-10 κάθε κύριος λοβός, βλέπει ανάμεσα στους κύριους λοβούς των γειτονικών κύψελων.

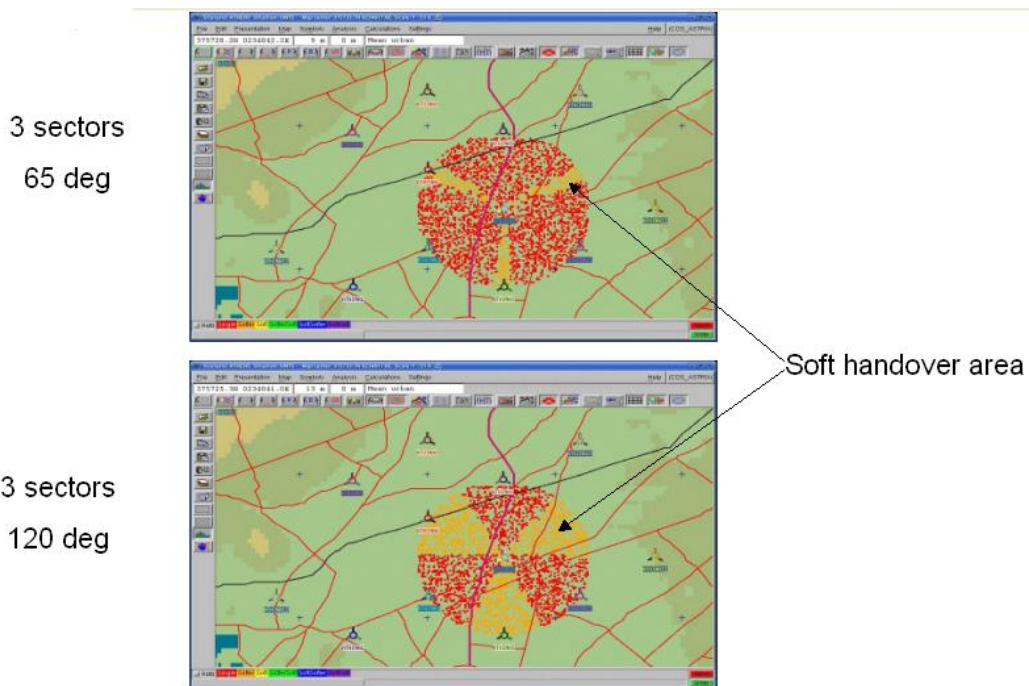
Η προς τα κάτω κλίση της κεραιάς καθορίζεται βάση της μορφολογίας του εδάφους και του μεγέθους. Στο παρακάτω Σχήμα 19-11 βλέπουμε από το radio planning tool ένα screen shot της μορφολογίας του εδάφους μεταξύ δυο σταθμών. Για να επιτύχουμε την μέγιστη απομόνωση ακολουθούμε τον παραπάνω κανόνα για το αζιμουθιακό προσανατολισμό, αλλά και για το elevation διαλέγουμε ένα προσανατολισμό έτσι ώστε να έχουμε ομοιόμορφες περιοχές κυριαρχίας.



Σχήμα 19-11: Μορφολογία εδάφους μεταξύ δυο σταθμών βάσης



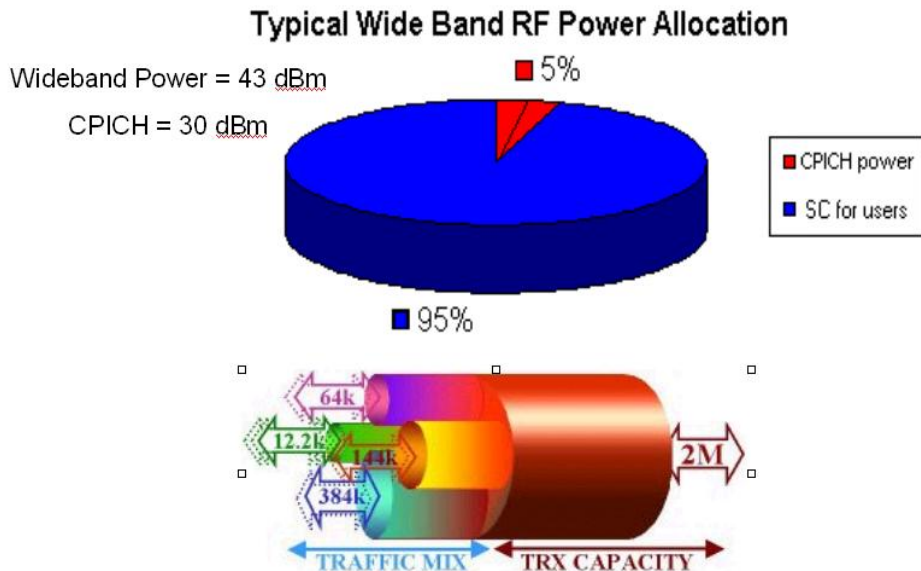
Σχήμα 19-12: Πολικό διάγραμμα της κεραίας H-plane και E-Plane



Σχήμα 19-13: Προσομοίωση περιοχών soft-handover από τον ASTRIX για δυο κεραίες με διαφορετικό 3dB azimuth beamwidth

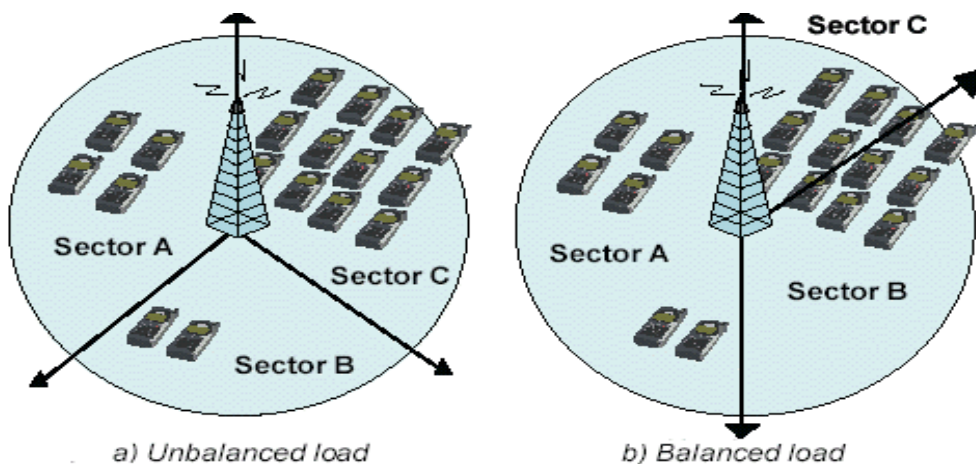
Στο παραπάνω Σχήμα 19-13, βλέπουμε την προσομοίωση με την βοήθεια του ASTRIX για την επιλογή δυο κεραιών με διαφορετικό 3dB azimuth beamwidth. Είναι προφανές ότι η κεραία με 65° 3dB beamwidth είναι η κατάλληλη επιλογή σε σχέση με την κεραία που έχει 120° , διότι η τελευταία έχει αυξημένη περιοχή soft-handover, κάτι που δεν είναι επιθυμητό. Γενικώς δεν θέλουμε μεγάλη αλληλοεπικάλυψη μεταξύ των γειτονικών κύψελων.

Αφού έχουμε ολοκληρώσει την μελέτη για την επιλογή του τύπου της κεραίας που θα χρησιμοποιηθεί καθώς επίσης των παραμέτρων, όπως της αζιμουθιακή κατεύθυνση και κλίση της κεραίας, μας απομένει η εργασία του καθορισμού της ισχύος που θα ανατεθεί στο CPICH.



Σχήμα 19-14: Ανάθεση ισχύος στο CPICH από την ολική ισχύ του wideband amplifier

Όπως παρατηρούμε από το παραπάνω Σχήμα 19-14 είναι σύνηθες σε ένα cell με wide band amplifier 43 dBm ή 20 Watt να αναθέτουμε 30 dBm 1 Watt στο CPICH. Αυτό όμως είναι καθαρά ενδεικτικό αφού μικρές μεταβολές τις τάξεως των 2 dB μπορούν να ανεβάσουν την χωρητικότητα έως και 10 με 20 %.



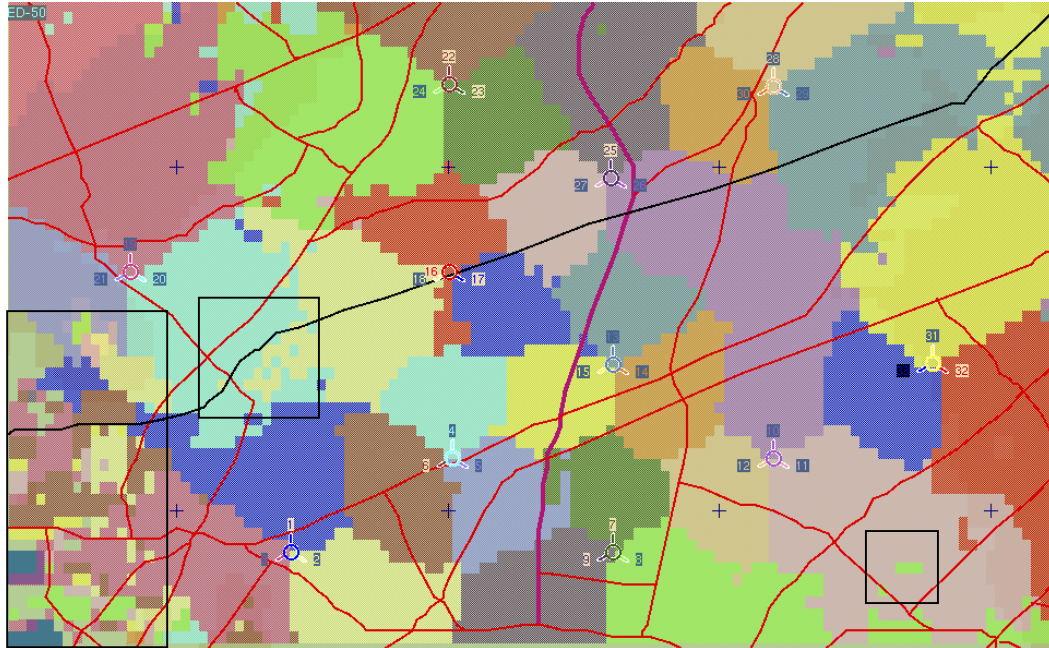
Σχήμα 19-15 : Περιοχές κυριαρχίας με ίση όσον το δυνατό έκταση.

Όπως αναφέραμε αρχικά ο καθορισμός της βέλτιστης ισχύος γίνεται, μετά από την ρύθμιση των κεραιών και έτσι ώστε να έχουμε καθαρές περιοχές κυριαρχίας και σε όσο το δυνατό ίδιας έκτασης Σχήμα 19-15. Αυτό εξασφαλίζει ομοιόμορφα κατανομημένο τηλεπικοινωνιακό

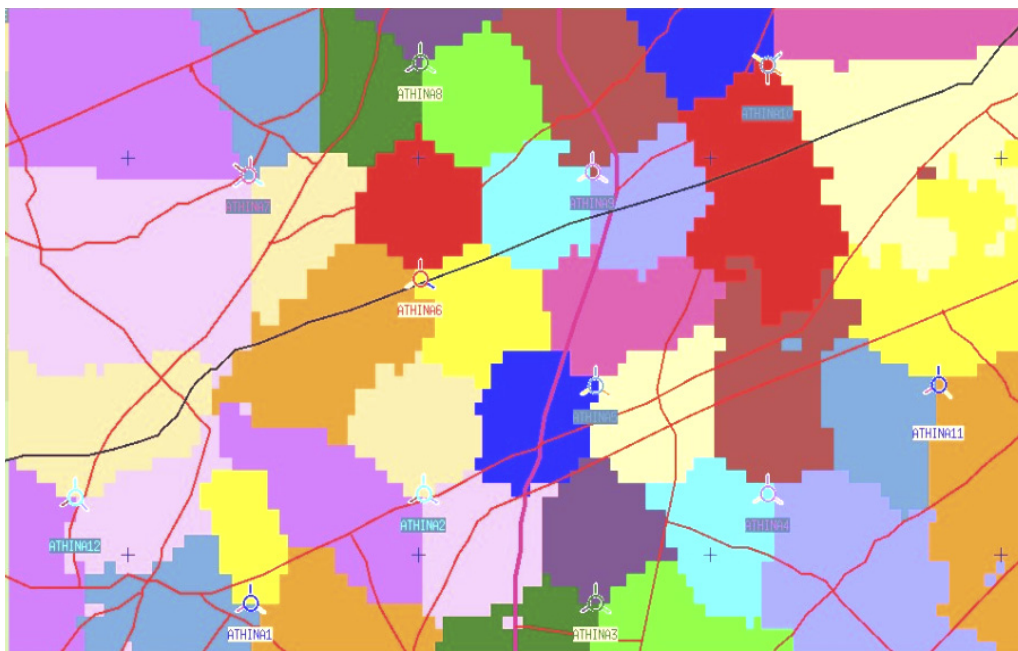
φορτίο στο δίκτυο, κάτι που είναι το A και το Ω στο UMTS. Συνήθως η ισχύς του CPICH είναι 5% της συνολικής ισχύς του wideband amplifier.

Όταν λέμε για καθαρές περιοχές κυριαρχίας εννοούμε, περιοχές στις οποίες δεν εμφανίζονται σποραδικά υπό-περιοχές όπου κυρίαρχο cell είναι ένα γειτονικό Σχήμα 19-16, περιοχές μέσα στα τετράγωνα.

Με την βοήθεια του ASTRIX στα Σχήματα 19-16 και 19-17 μπορούμε να δούμε την βέλτιστη επιλογή ισχύος στο CPICH.



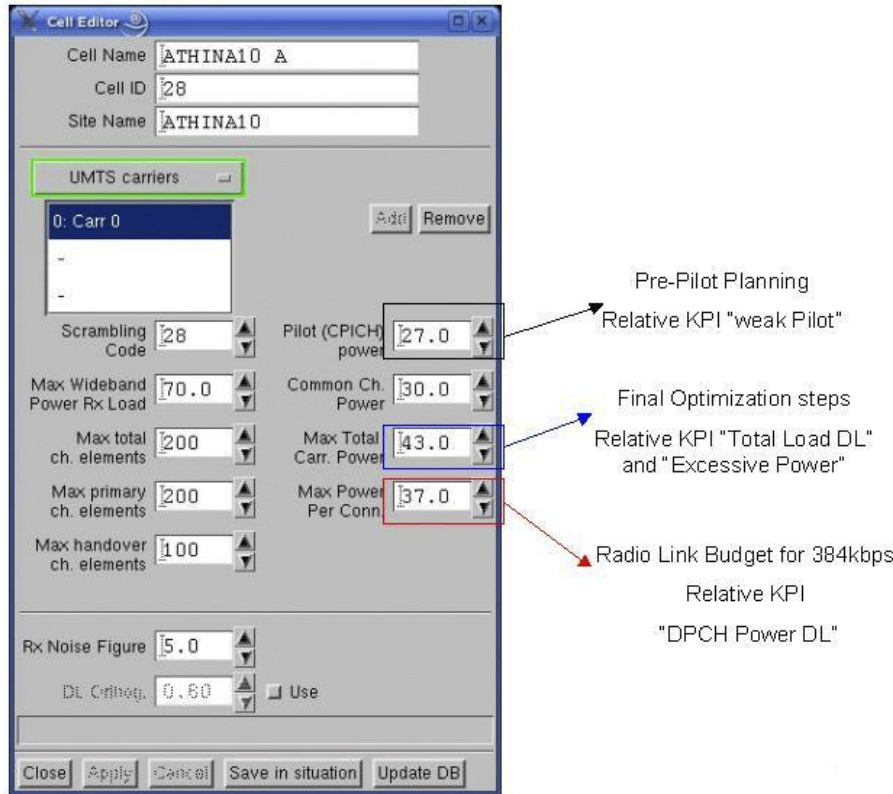
Σχήμα 19-16: Δίκτυο με λανθασμένη ισχύ στα CPICH των cells



Σχήμα 19-17: Δίκτυο με βέλτιστη ισχύ στα CPICH

19.5 Τελική ρύθμιση παραμέτρων κυψέλης UMTS

Στο παρακάτω Σχήμα 19-18, μπορούμε να δούμε ένα screenshot από το πρόγραμμα ASTRIX με τυπικές τιμές παραμέτρων που χρησιμοποιούνται για έναν κανονικό σταθμό βάσης που χρησιμοποιεί ένα μόνο carrier. Πάνω σε αυτές τις τιμές με την βοήθεια του ASTRIX και προσομοιώσεων για διαφορετικά KPIs καταλήγουμε στις βέλτιστες τιμές.



Σχήμα 19-18: Τυπικό configuration σταθμού UMTS

Όπως παρατηρείτε στο παραπάνω Σχήμα 19-18 έχουμε αναφέρει σε κάθε παράμετρο και το σχετικό KPI ή στην ομάδα KPI, που έχει επίδραση η παράμετρος

19.6 Βήματα και οδηγίες για την τελική βελτιστοποίηση του δικτύου UMTS

Ακολουθώντας τις παραπάνω βασικές αρχές και βήματα, έχουμε σχεδιάσει ένα δίκτυο το οποίο θα έχει επαρκή χωρητικότητα ώστε να καλύψει την τηλεπικοινωνιακή κίνηση που έχουμε υπολογίσει από την αρχική διαστασιοποίηση. Το σύστημα όμως έχει σίγουρα μεγαλύτερη χωρητικότητα αν παρατηρήσουμε τα στατικά από την λειτουργία του σε συγκεκριμένα KPI. Έτσι αναλύοντας τα στοιχεία από τα KPI μπορούμε ανά κυψέλη να προβούμε σε fine tuning ορισμένων παραμέτρων.

Έτσι με την βοήθεια του radio planning tool ο σχεδιαστής του δικτύου μπορεί να προσομοιώσει και να βλέπει τις επιπτώσεις που θα έχουν οι αλλαγές στο πραγματικό δίκτυο, πριν τις εφαρμόσει σε αυτό. Σημειώνουμε ότι τώρα στο radio planning tool κάνουμε προσομοιώσεις με παρουσία τηλεπικοινωνιακής κίνησης αλλά και κινητικότητας χρηστών, βασιζόμενη στο μοντέλο Monte-Carlo.

19.6.1 Οδηγίες και βήματα βελτιστοποίησης

Τα βήματα για επιπλέον βελτιστοποίηση εξαρτάται και από την κίνηση που έχει κάθε σταθμός βάσης. Έτσι χωρίζουμε στις εξής υπό-περιπτώσεις:

- Low traffic density 10-20 Erl/Km
- Medium traffic density 30-50 Erl/Km
- High traffic density 100-150 Erl/Km

19.6.2 Low traffic density 10-20 Erl/Km

Επιπλέον ρύθμιση της κατεύθυνσης και του tilt των κεραιών

Τα KPI που μπορούμε να βελτιστοποιήσουμε είναι τα κάτωθι:

- Μέγεθος του active set και ισομερισμός των περιοχών κυριαρχίας
- Βελτιστοποίηση της ισχύος CPICH μελετώντας την παράμετρο το F-ratio για την

$$\text{downlink κατεύθυνση } F_{DL} = \frac{I_{all_neighbor}}{I_{serving}}$$

19.6.3 Medium traffic density 30-50 Erl/Km

Αν ο σχεδιαστής του δικτύου παρατηρήσει να έχει υψηλό call drop rate λόγω του ότι έχει πο-

λύ χαμηλό CPICH ή $\frac{E_{CPICH}}{I_0}$, τότε θα πρέπει να ανεβάσει την ισχύ του CPICH κατά 1-2 dB,

βασιζόμενος πάντα στο radio planning tool.

Χαμηλό CPICH ή $\frac{E_{CPICH}}{I_0}$, μπορεί να οφείλεται σε υπερβολικό θόρυβο από εξωγενή παρά-

γοντα στο δίκτυο, όπως παρεμβολές από αλλιά τηλεπικοινωνία συστήματα ή από hot spot χρηστών σε γειτονικούς σταθμούς, που δεν είχαν εκτιμηθεί στην αρχική μελέτη.

19.6.4 High traffic density 100-150 Erl/Km

•**Αύξηση της ισχύος του Wide Band Amplifier** (High traffic density 100-150 Erl/Km)

– Τοποθέτηση ενός 46 dBm (40 Watts) wide amplifier στην θέση του 43 dBm (20 Watts) wide band amplifier έτσι ώστε να αντιμετωπιστούν περιπτώσεις downlink limited capacity. (Ελέγχουμε για ενδείξεις BS power DL or Excessive power UL)

–Fine tuning της μέγιστης ανατεθείσας ισχύος ανά χρήστη. Ελέγχουμε για ενδείξεις DPCH DL power

•**Τοποθέτηση ΜΗΑ, δηλαδή ενισχυτή χαμηλού θορύβου τοποθετημένο πάνω ακριβώς στην κεραία, έτσι ώστε να βελτιστοποιήσουμε το Noise Figure (NF) του front end του συστήματος του δέκτη.**

–Τοποθετούμε ΜΗΑ όταν βλέπουμε στα στατιστικά call drops εξαιτίας DPCH power limit uplink. Δηλαδή γενικώς σε περιπτώσεις όπου τα UE με 21 dBm class 4 δεν έχουν επαρκεί ισχύ για να καλύψουν τις ανάγκες της ασύρματης σύνδεσης.

–Βασικά τοποθετούμε ΜΗΑ, σε σταθμούς βάσης που είναι macro και βρίσκονται σε απομακρυσμένες περιοχές με γενικά λίγο θόρυβο.

• **Επιπλέον sectorisation στον τομέα που έχει αυξημένη κίνηση, με την χρήση κεραιών υπέρ-κατευθυντικών κεραιών. Beamwidth < 30⁰**

–Ο μέγιστος αριθμός sectors ανά σταθμό βάσης πρέπει να είναι 6. Αν ακόμα παρατηρούμε προβλήματα συμφόρησης, τότε έχουμε ακολούθως:

• **Δημιουργία σταθμών βάσης σε νέες θέσεις**

–Δημιουργούμε νέους σταθμούς βάσης όσο το δυνατό πιο κοντά στην περιοχή με την μέγιστη πυκνότητα χρηστών.

–Εφαρμόζουμε ιεραρχική HCS δομή δικτύου με micro – normal – macro cells.

• **Εφαρμογή της τεχνικής «απευαισθητοποίησης» του δέκτη με τεχνητή αύξηση του noise figure του δέκτη, η με τοποθέτηση ηλεκτρονικά μεταβαλλόμενου attenuator. (High traffic density 100-150 Erl/Km)**

• **Τέλος, έχουμε την εισαγωγή επιπλέον WCDMA carrier (High traffic density 100-150 Erl/Km)**

–Ενεργοποιούμε δεύτερο carrier, όταν παρατηρούμε στα στατιστικά ότι έχουμε Blocking εξαιτίας Lack of channels elements. Αυτό σημαίνει ότι έχουμε φτάσει να έχουμε αξιοποιήσει στο έπακρο του πόρους του συστήματος και δεν υπάρχει άλλη λύση από την αγορά άλλου ενός carrier.

19.7 UMTS Radio Planning KPIs

Οι δείκτες που θα πρέπει να πάρουμε υπ' όψιν προκειμένου να μπορέσουμε να βελτιστοποιήσουμε το δίκτυο είναι :

- Uplink Noise Rise
- Uplink Wideband Cell Load
- Uplink F-Ratio
- Downlink F-Ratio
- DPCH Power DL
- DPCH Power UL
- Total Wideband Power Load DL
- Excessive Power DL
- Too Weak Pilot
- Lack of Channel Elements

19.8 Uplink & Downlink capacity-limited σενάρια

Ο παρακάτω Πίνακας 19-8 αναφέρεται σε ένα πολύ συχνό πρόβλημα των δικτύων UMTS, που προκαλεί blocking. Το φαινόμενο είναι το Uplink & Downlink power limited. Δηλαδή ενώ έχουμε κανάλια (κώδικες) να απονείμουμε σε χρήστες η υπηρεσία δεν μπορεί να εξυπηρετηθεί διότι δεν έχουμε ισχύ στην downlink κατεύθυνση από τον σταθμό βάσης, η υπερβολικό θόρυβο στην uplink κατεύθυνση.

Ο Πίνακας 19-8 δίνει τους λόγους που οδηγούν σε τέτοιες καταστάσεις, τις ενδείξεις του προβλήματος και τέλος την λύση που πρέπει να δοθεί.

	Uplink limited	Downlink limited
Limiting Factor	Uplink Cell Load	BTS transmit power
Common reasons	<ul style="list-style-type: none"> •Planned to a low uplink cell load •High BTS transmit power capability •Relatively symmetric traffic 	<ul style="list-style-type: none"> •Planned to a high uplink cell load •Low BTS transmit power capability •Greater traffic on the downlink
Indications	<ul style="list-style-type: none"> •BTS transmit power not at maximum •Uplink cell load at maximum 	
Solution	<ul style="list-style-type: none"> •Improve uplink F-ratio •Optimize antenna tilting and direction •Split sectors to smaller sector with narrow beam antennas 	<ul style="list-style-type: none"> •Improve downlink F-ratio •Improve downlink link budget •Decrease CPICH allocated power

Πίνακας 19-8: Πλάνο αντιμετώπισης Uplink & Downlink capacity-limited σεναρίων

19.9 Εκτίμηση των KPIs στο UMTS Radio Planning

Στον παρακάτω Πίνακα 19-9 μπορούμε να αναλύσουμε τα KPIs που αναφέραμε παραπάνω, με τα προβλήματα που εκδηλώνονται και τις λύσεις που ενδείκνυται.

Radio Planning KPIs	Problems	Solution
Uplink Noise Rise	<ul style="list-style-type: none"> • Cell Breathing • Decreased Service Coverage 	<ul style="list-style-type: none"> • Fine tune of tilting and direction • Use of more sectors with narrow antennas • Low loss cables-MHA (low traffic) • De-sensitisation (high traffic)
Uplink Wideband Cell Load	<ul style="list-style-type: none"> • Cell Breathing • Decreased QoS 	<ul style="list-style-type: none"> • Fine tune of tilting and direction • Use of more sectors with narrow antennas • De-sensitisation (high traffic)
Uplink F-Ratio Downlink F-Ratio	<ul style="list-style-type: none"> • Decreased QoS • Decrease Capacity 	<ul style="list-style-type: none"> • Fine tune of tilting and direction • Use of more sectors with narrow antennas
DPCH Power DL (When the network has big demand for broadband services like 384 kbps)	<ul style="list-style-type: none"> • Decrease Capacity • Increase blocking at broadband services 	<ul style="list-style-type: none"> • Increase Max. Power per connection • Installation of new Node-b

DPCCH Power UL (When the network has big demand for broadband services like 384 kbps)	<ul style="list-style-type: none"> • Decrease Capacity • Increase blocking at broadband services 	<ul style="list-style-type: none"> • Low loss cables-MHA • Installation of new Node-b
Total Wideband Power Load DL	<ul style="list-style-type: none"> • Decrease Capacity 	<ul style="list-style-type: none"> • Put more powerful Wideband Amplifier • Installation of new Node-b
Too Weak Pilot	<ul style="list-style-type: none"> • Unutilized network resources 	<ul style="list-style-type: none"> • Increase the CPICH allocated power
Lack of Channel Elements (When the network has big demand for broadband services like 384 kbps)	<ul style="list-style-type: none"> • Increase blocking at broadband services 	<ul style="list-style-type: none"> • Use of more sectors with narrow antennas • Utilize second carrier

Πίνακας 19-9: Ανάλυση και λύσεις σε προβλήματα που εκδηλώνονται στα KPIs

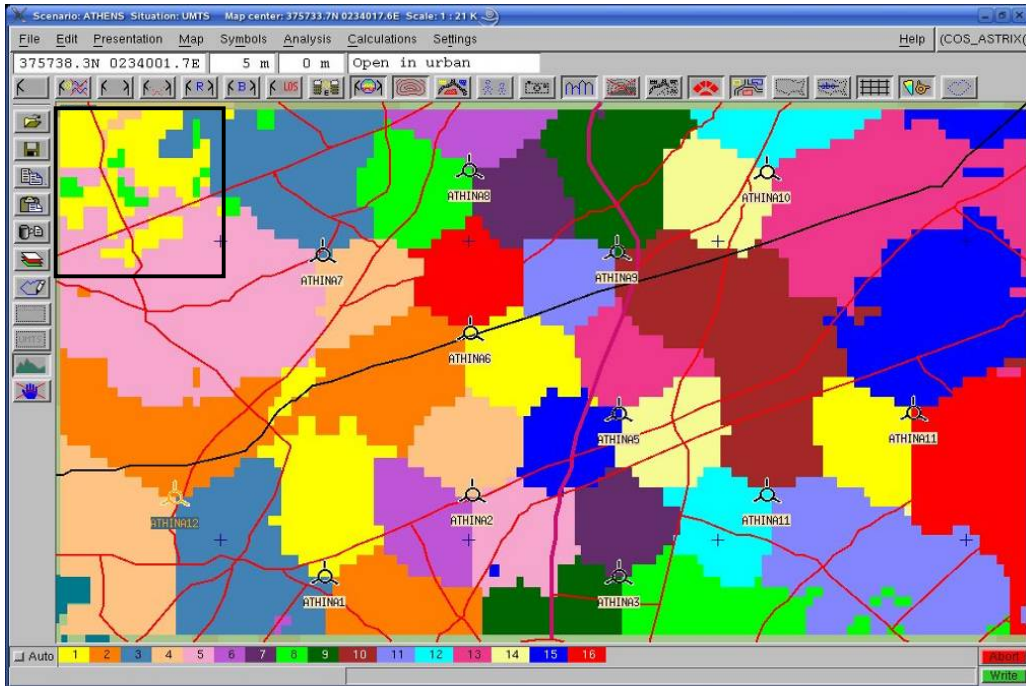
19.10 Παραδείγματα βελτιστοποίηση δικτύου UMTS

Σε αυτό το κεφαλαίο θα παραθέσουμε παραδείγματα βελτιστοποίησης ενός δικτύου UMTS σε διάφορα KPIs. Αρχικά δείχνουμε την εικόνα του δικτύου χωρίς βελτιστοποίησης. Έπειτα ακλουθώντας τις προαναφερθείσες υποδείξεις δείχνουμε την νέα εικόνα του δικτύου με τις βέλτιστες τιμές στις αντίστοιχες παραμέτρους. Όλα τα παραδείγματα προσομοιώνονται με την βοήθεια του radio planning tool ASTRIX σε δίκτυο που έχει αναπτυχθεί σε περιοχή της Αθηνάς.

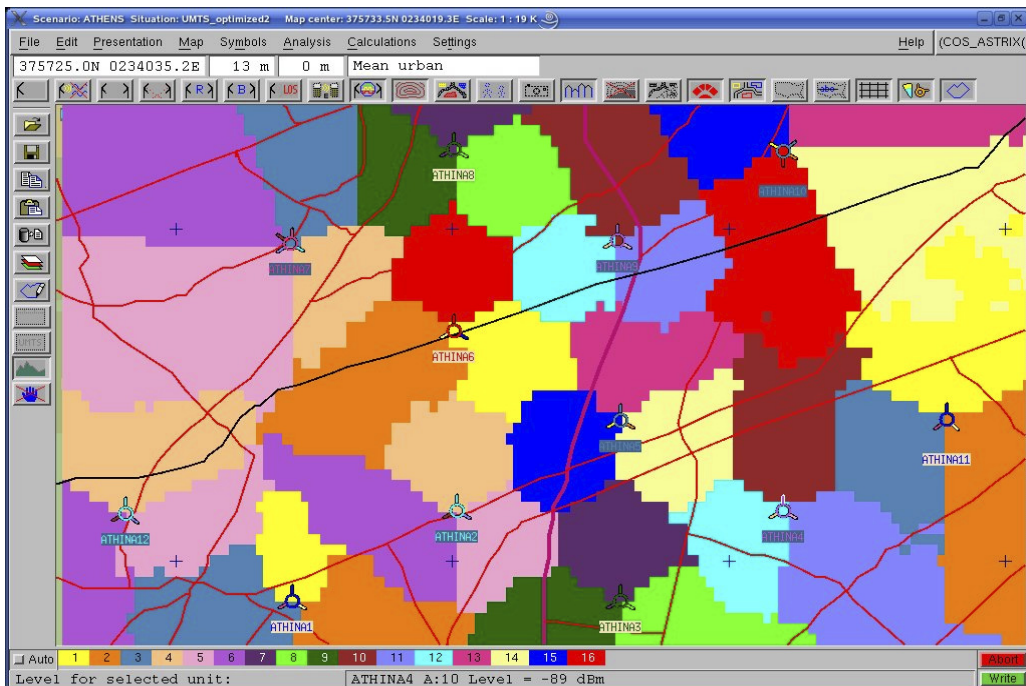
Σε ορισμένες προσομοιώσεις χρησιμοποιείται το μοντέλο κίνησης Monte Carlo με συγκεκριμένη κίνηση.

19.10.1 Pre-Pilot Planning

Σε αυτό το παράδειγμα μπορούμε να δούμε δυο διαφορετικές ραδιοκάλυψης. Η πρώτη δεν έχει βέλτιστη απονομή ισχύος στο CPICH, όπως λάθος ρυθμισμένες κεραιές. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ανομοιόμορφες και μη καθαρές περιοχές κυριαρχίας. Σε ορισμένα cell αυξήσαμε κατά 2^0 την κλίση καθώς ελαττώσαμε κατά 2 dB την ισχύ του CPICH έτσι ώστε να μην έχουν μεγάλη περιοχή κυριαρχίας.



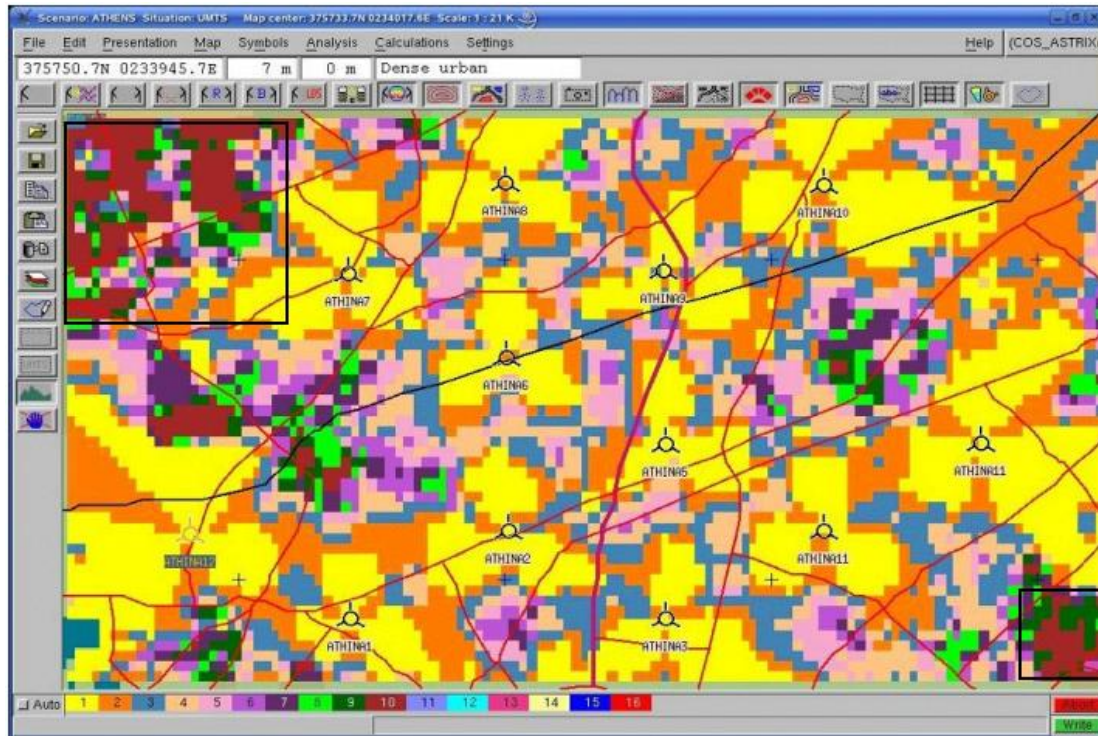
Σχήμα 19-19: Pre-Pilot Optimization (un-optimized)



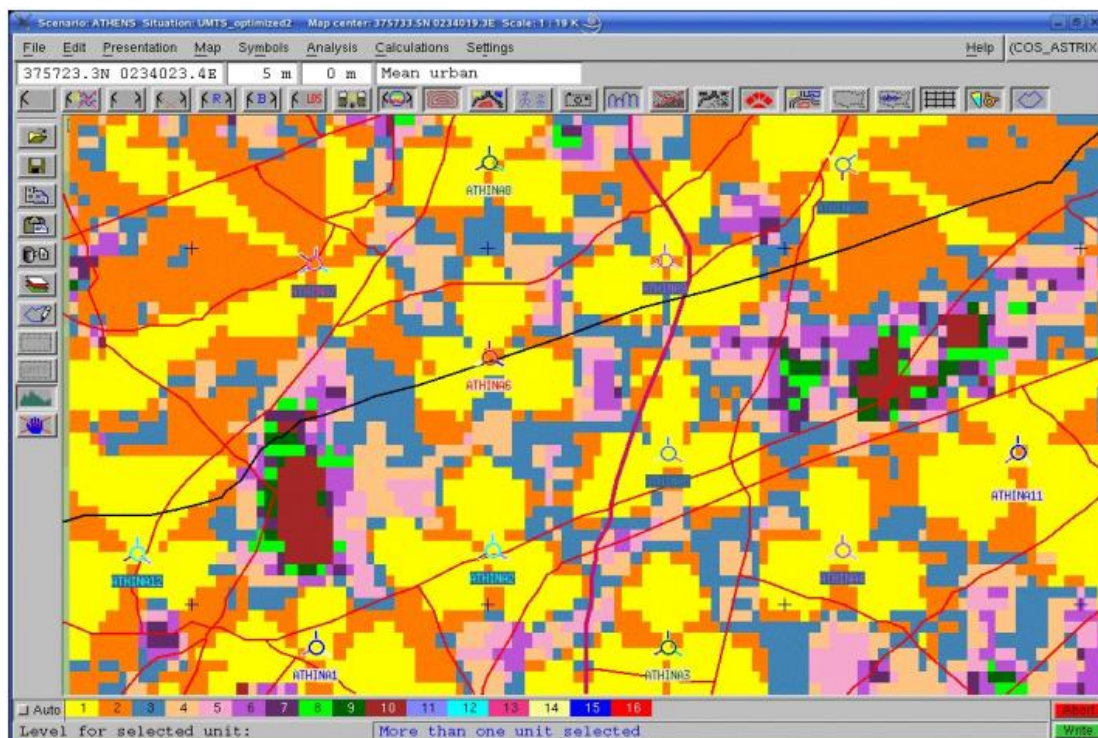
Σχήμα 19-20: Pre-Pilot Optimization (optimized)

19.10.2 Pilot Count

Ο δείκτης Pilot Count δείχνει μια πολύ αντιπροσωπευτική εικόνα για την κατάσταση που επικρατεί σε ένα δίκτυο. Αν έχουμε πολλές περιοχές με υψηλό Pilot Count σημαίνει ότι έχουμε παρεμβολές στο δίκτυο στην downlink κατεύθυνση. Αυτό μπορεί να οφείλεται σε λάθος επιλογή ισχύος στο CPICH ή σε λάθος επιλογή κεραιάς και ρυθμίσεων της.



Σχήμα 19-21: Pilot Count (un-optimized)



Σχήμα 19-22: Pilot Count (optimized)

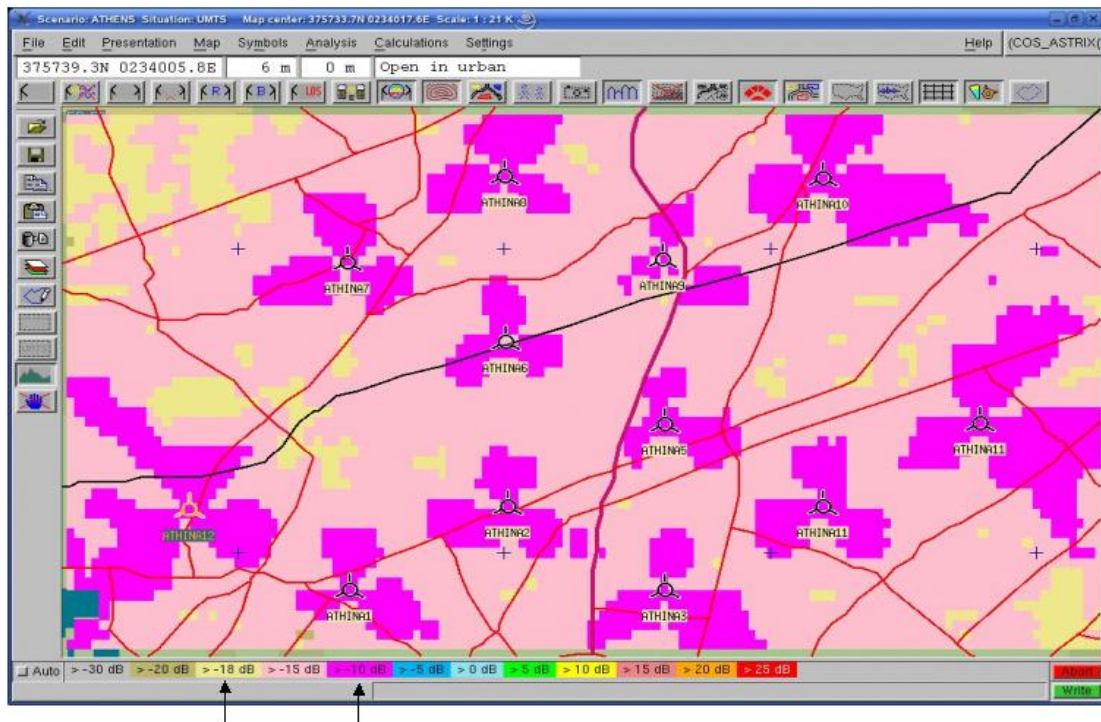
19.10.3 Pilot Ec/Io (χωρίς κίνηση)

Ο δείκτης Ec/Io δείχνει το επίπεδο των παρεμβολών στη downlink κατεύθυνση στο CPICH. Υψηλές τιμές σε αυτόν τον δείκτη σημαίνει σύμφωνα με τα παραπάνω ότι χρειάζεται εκ νέου ρύθμιση η κλίση των κεραιών και η ισχύς του CPICH. Στις παρακάτω προσομοιώσεις δεν έχουμε λάβει υπ' όψιν κίνηση στο σύστημα. Από ότι φαίνεται ξεκάθαρα με την βελτιστοποίηση έχουμε κέρδος έως 12 dB, που μεταφράζεται σε αντίστοιχα σημαντική αύξηση της χωρητικότητας του δικτύου.

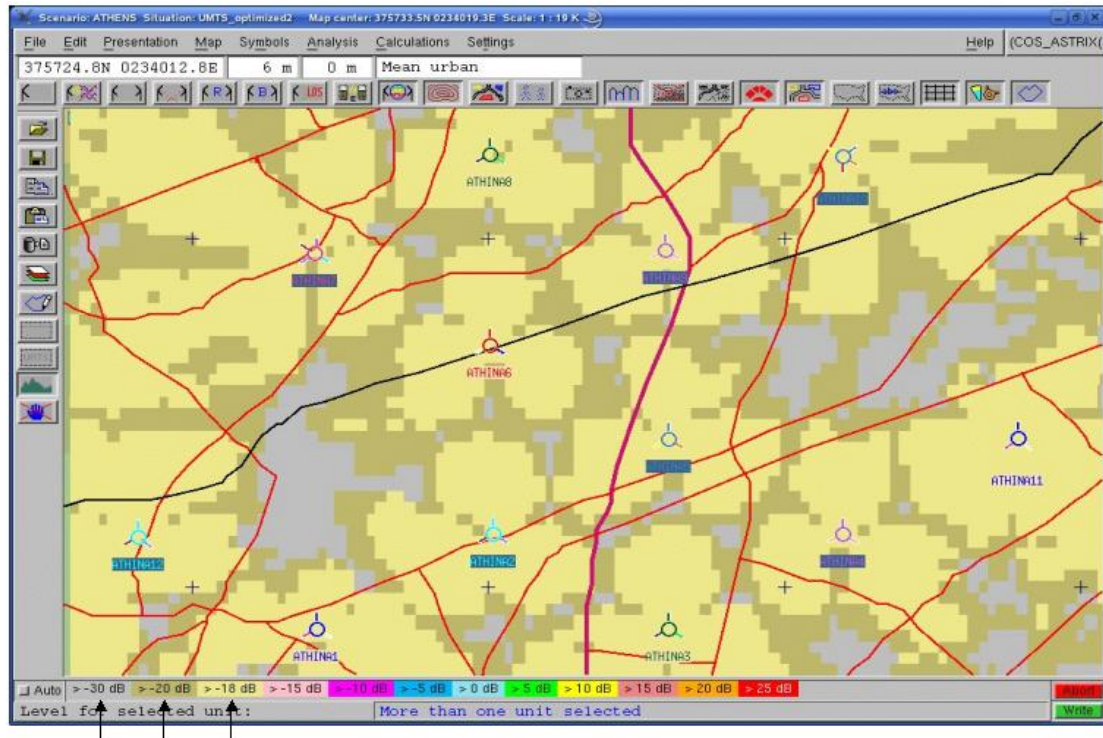
Η μαθηματική σχέση που μας δίνει το Ec/Io είναι:

$$\frac{E_{CPICH}}{I_{overall}} = \frac{P_{CPICH} / L_p}{\sum_{i=1}^{numBSs} P_{TX,i} / L_{P,i} + I_{ACI} + N_0}, \text{ όπου } P_{CPICH} \text{ η ισχύς του serving (dominant) cell, } L_p \text{ το}$$

link path loss, $P_{TX,i}$ η εκπεμπόμενη ισχύς από το i γειτονικό σταθμό, I_{ACI} οι παρεμβολές από τα γειτονικά κανάλια και N_0 η ισχύς του λευκού θορύβου.



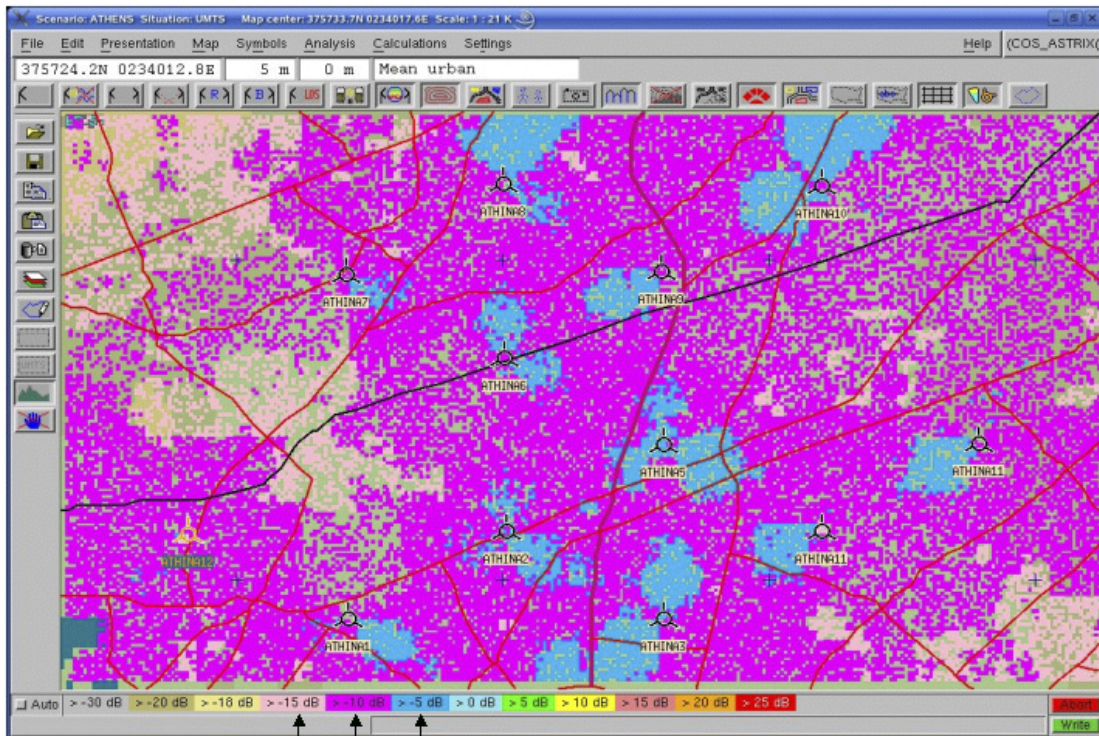
Σχήμα 19-23: Pilot Ec/Io σε dB (un-optimized)



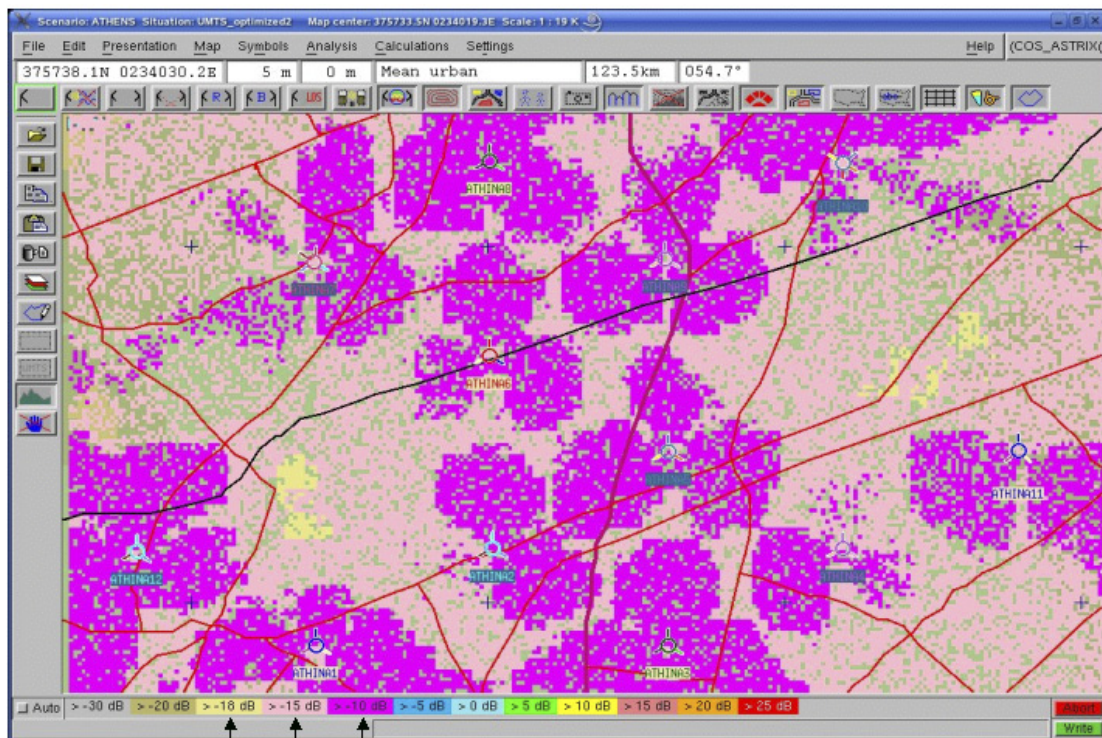
Σχήμα 19-24: Pilot E_c/I_o σε dB (optimized)

19.10.4 Pilot Ec/Io (με κίνηση)

Στις παρακάτω προσομοιώσεις έχουμε ενεργοποιήσει το μοντέλο κίνησης Monte Carlo με πυκνότητα κίνησης $200 \text{ Erl} / \text{Km}^2$. Παρατηρήστε σε σχέση με την παραπάνω περίπτωση, πόσο επιβαρύνεται το δίκτυο UMTS αυξανόμενης της τηλεπικοινωνιακής κίνησης. Με την fine tuning των παραμέτρων, έχουμε βελτίωση της τάξης των 5 dB.



Σχήμα 19-25: Pilot Ec/Io σε dB (un-optimized)



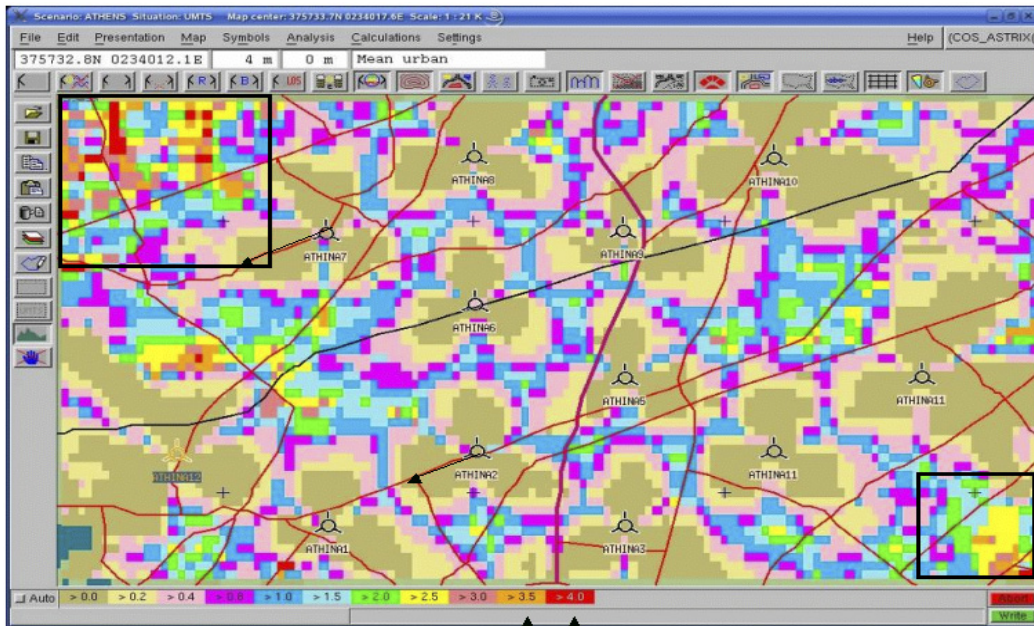
Σχήμα 19-26: Pilot Ec/Io σε dB(optimized)

19.10.5 Pilot DL F-factor

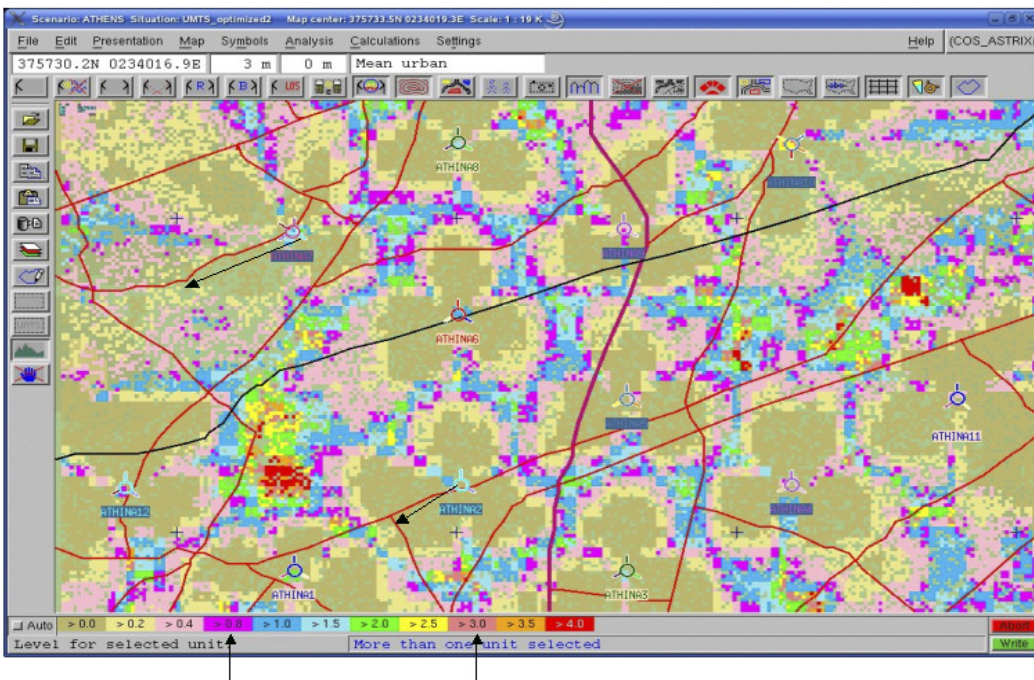
Ο παράγοντας F είναι από τους πιο σημαντικούς στο radio planning, καθώς εκφράζει το επίπεδο παρεμβολών από τον ένα σταθμό UMTS στον άλλο. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα εξετάζουμε το F-factor στην downlink κατεύθυνση. Δηλαδή τα intracell interferences που ακούει

$$f_{DL} = \frac{N_{adjacentcell_samecarrier}}{S_{servingcell}}$$

Από τις παρακάτω προσομοιώσεις βλέπουμε ότι το F-factor από μεγαλύτερο του 4 έγινε μικρότερο του 3.



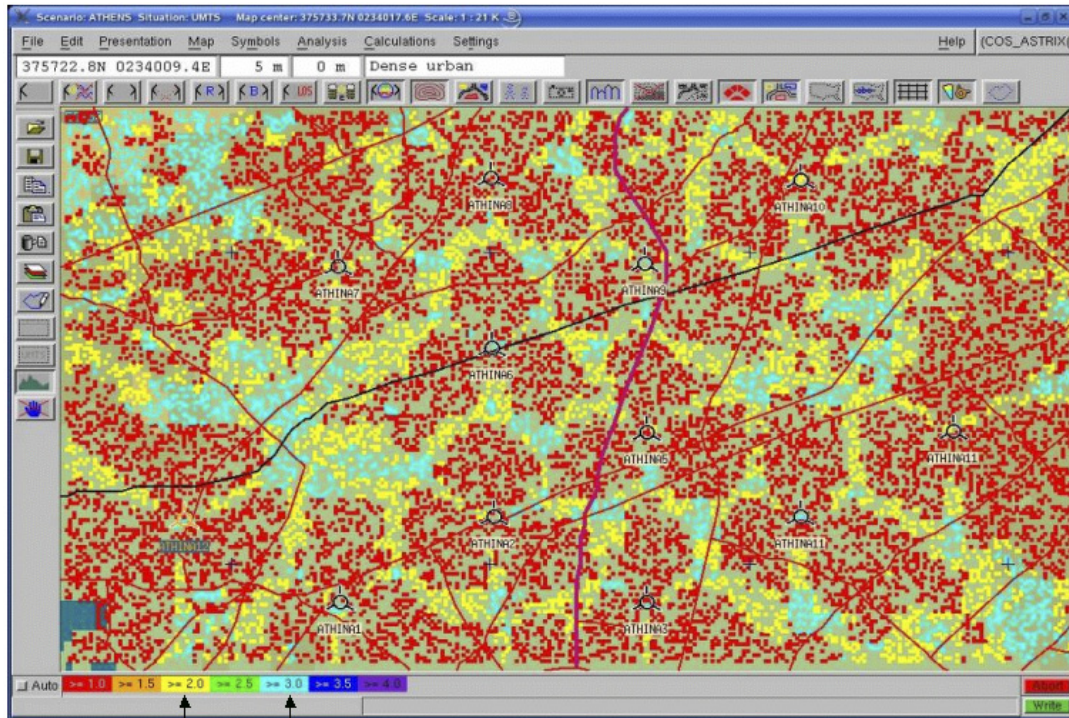
Σχήμα 19-27: Pilot DL F-factor (un-optimized)



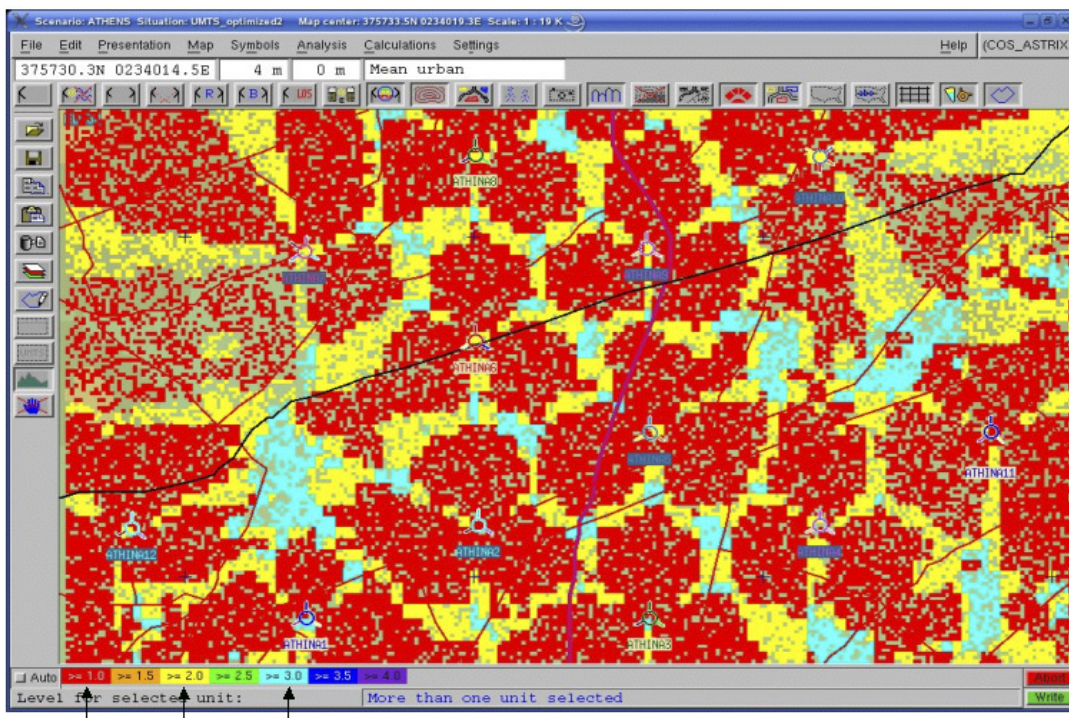
Σχήμα 19-28: Pilot DL F-factor (optimized)

19.10.6 No of Active Set

Ο δείκτης απόδοσης Active set δείχνει αν έχουμε χρησιμοποίηση στο δίκτυο τον σωστό τύπο κεραίας, για την επιλεχθέν multi-sector σχήμα. Βλέπουμε επίσης ότι με επιπλέον fine-tuning των ρυθμίσεων των κεραιών, μπορούμε να ελαχιστοποιήσουμε το μέγεθος του active set, το οποίο δεν θα πρέπει να είναι μεγαλύτερο του 4. Βλέπουμε ότι με τις αλλαγές, μειώθηκε κατά μέσο όρο, κατά 1.



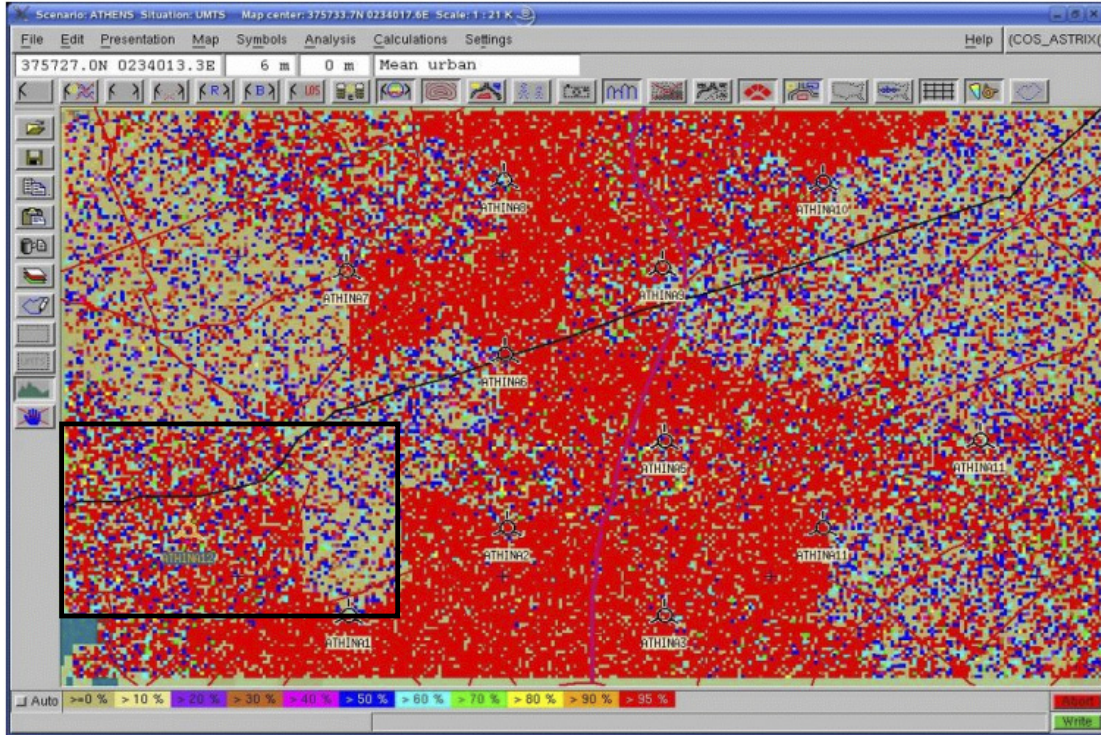
Σχήμα 19-29: No of active set (un-optimized)



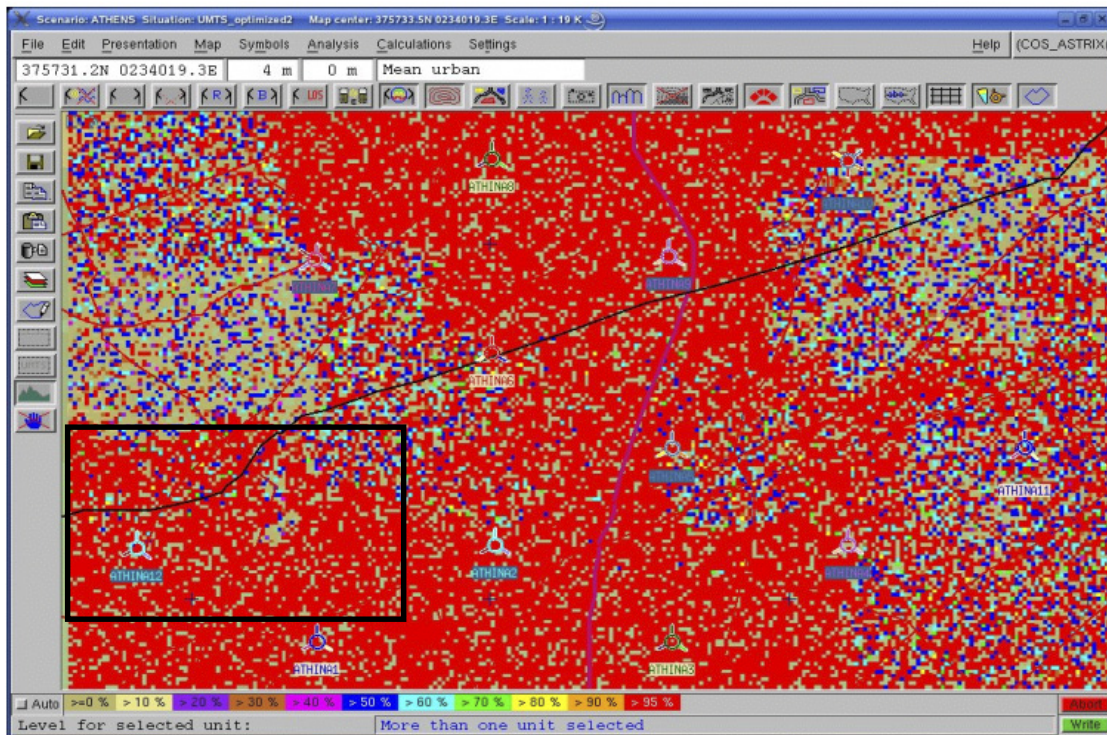
Σχήμα 19-30: No of active set (optimized)

19.10.7 Coverage Probability 200 Erl / Km²

Με αυτή τη προσομοίωση βλέπουμε την ραδιοκάλυψη του δικτύου εφαρμόζοντας στο μοντέλο Monte Carlo πυκνότητα κίνησης ίση με 200 Erl / Km². Βλέπουμε ότι υπάρχουν αρκετά σημεία που η πιθανότητα κάλυψης είναι μικρότερη του 20%. Με την βελτιστοποίηση έχουμε επιτύχει σε ορισμένες μόνο περιοχές να αυξήσουμε έως 30 % την πιθανότητα κάλυψης



Σχήμα 19-31: Coverage Probability (un-optimized)



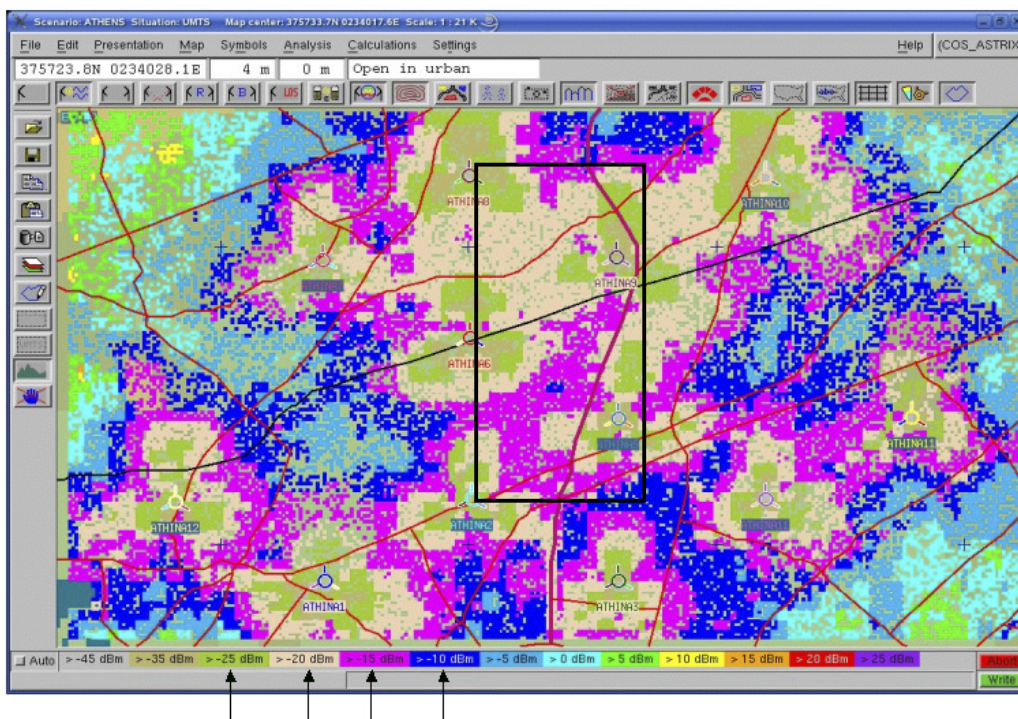
Σχήμα 19-32: Coverage Probability (optimized)

19.10.8 UL Required Power

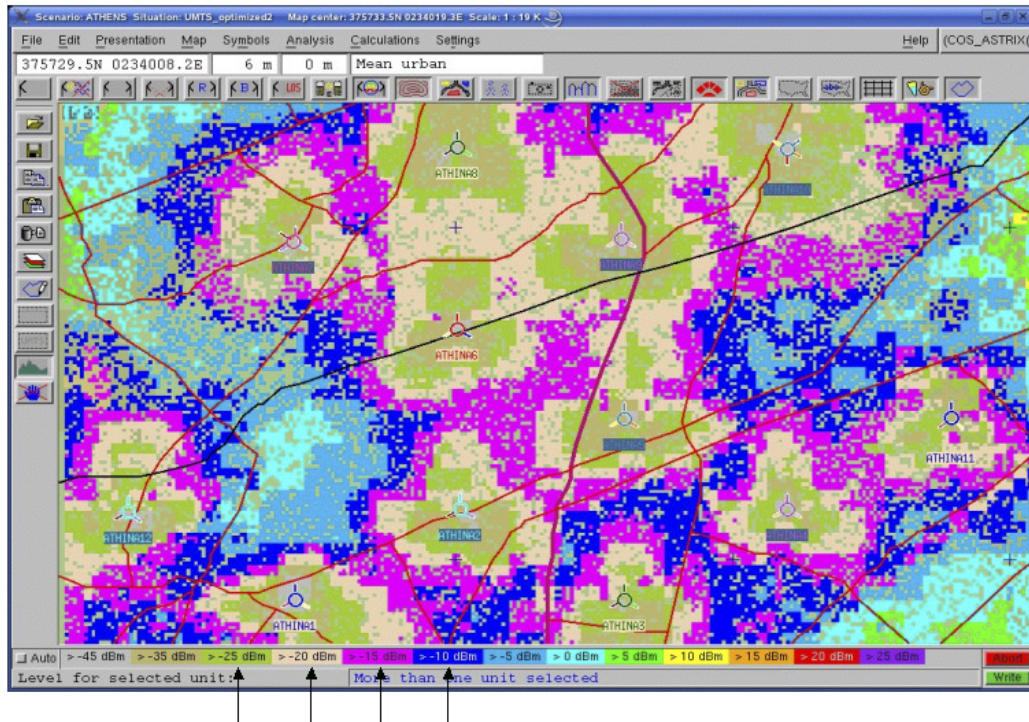
Ο δείκτης απόδοσης UL Required Power εκφράζει την μέση ισχύ που πρέπει να εκπέμπει ένα κινητό τηλεκονομητή, για να εξυπηρετηθεί μια τηλεπικοινωνιακή υπηρεσία (voice 12.2 kbps στην προκειμένη περίπτωση). Όσο πιο μικρή είναι η απαιτούμενη ισχύ τόσο πιο καλή είναι η σχεδίαση του δικτύου. Επίσης ένα άλλο έμμεσο πλεονέκτημα είναι ότι έτσι επιτυγχάνεται χαμηλότερη κατανάλωση μπαταρίας από το τηλεκονομητή, καθώς και ο χρήστης εκτίθεται σε χαμηλότερα επίπεδα ακτινοβολίας. Σε ορισμένες περιοχές έχουμε βελτίωση έως και 5 dB.

$$UL_Required_power = BS_sensitivity + pathloss = \frac{N_0 \cdot L_p}{v \cdot (1-n) \cdot (1 + \frac{W}{R \cdot \rho \cdot v})}$$

rate και ρ service activity.



Σχήμα 19-33: UL Required Power σε dBm (un-optimized)



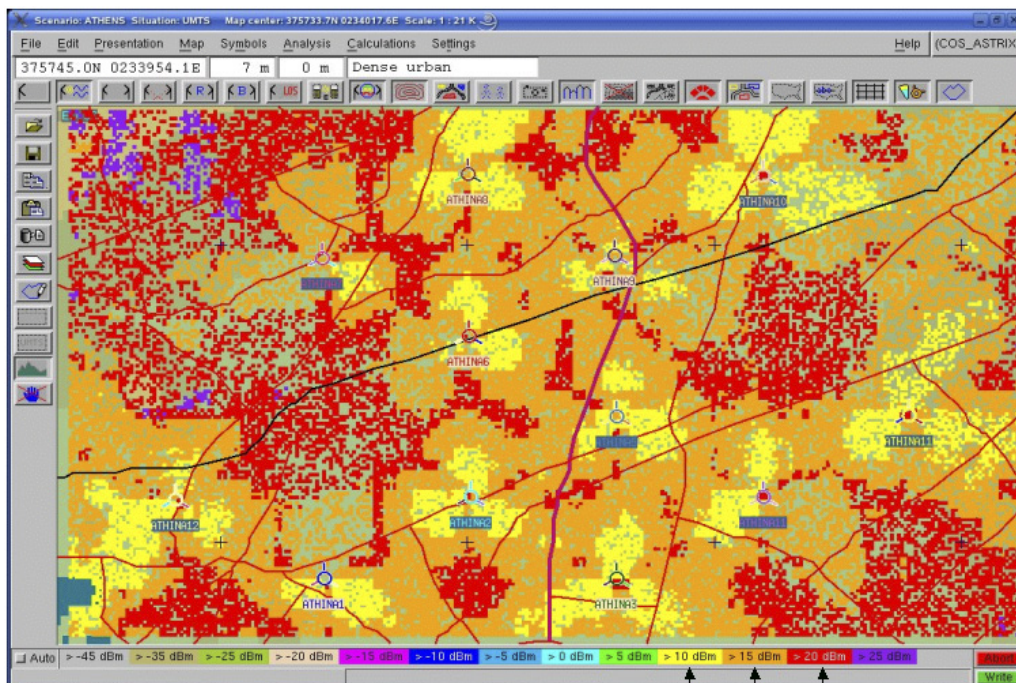
Σχήμα 19-34: UL Required Power σε dBm (optimized)

19.10.9 DL Required Power

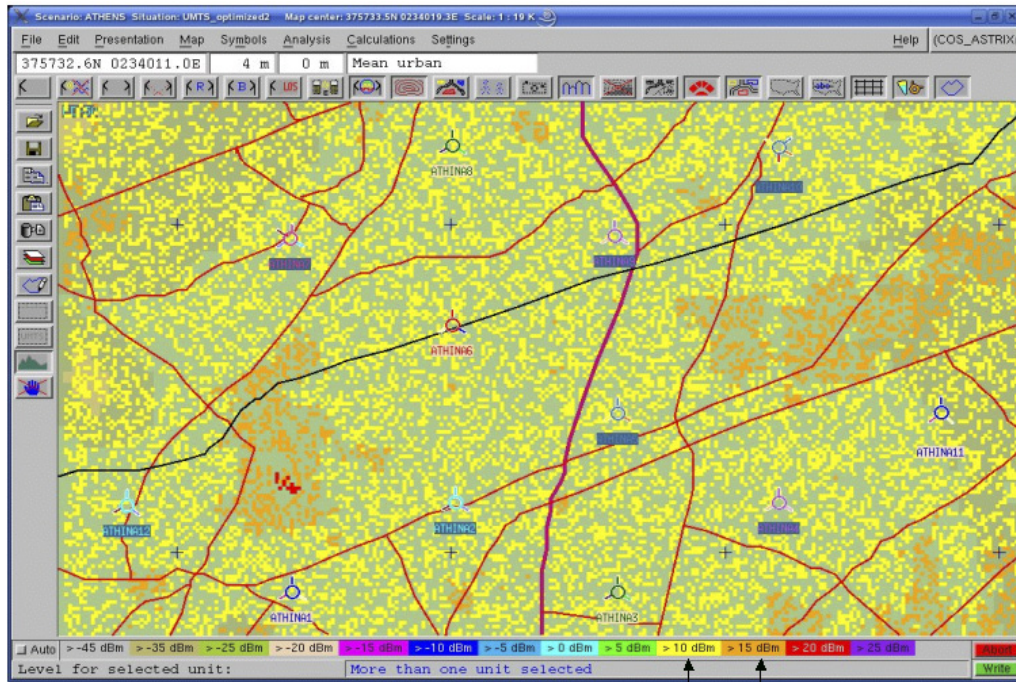
Ο δείκτης απόδοσης DL Required Power εκφράζει την μέση ισχύ που χρειάζεται να εκπεμφθεί από το σταθμό βάσης για να εξυπηρετηθεί μια κλήση. Είναι λογικό να επιδιώκουμε να εξυπηρετούμε τους χρηστές με όσο το λιγότερο ισχύ. Έτσι επιτυγχάνουμε μείωση των παρεμβολών στο δίκτυο και αύξηση της χωρητικότητας του δικτύου, αφού κάνουμε οικονομία στη διαθέσιμη ισχύ από τον wideband amplifier του σταθμού βάσης. Στις παρακάτω εξομοίωσης μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι σε ορισμένες περιοχές με την βελτιστοποίηση επιτυγχάνουμε να έχουμε έως και 10 dB χαμηλότερο DL Required Power, που σημαίνει και έμμεσα σημαντική αύξηση της χωρητικότητας του δικτύου.

Η DL Required Power δίνεται από την μαθηματική σχέση:

$$DL \text{ Required Power} \geq \frac{\rho \cdot R / W}{\sum_{k=1}^n L_{p,k} \cdot (I_{tot} - a \cdot I_k + N_{ms})}$$



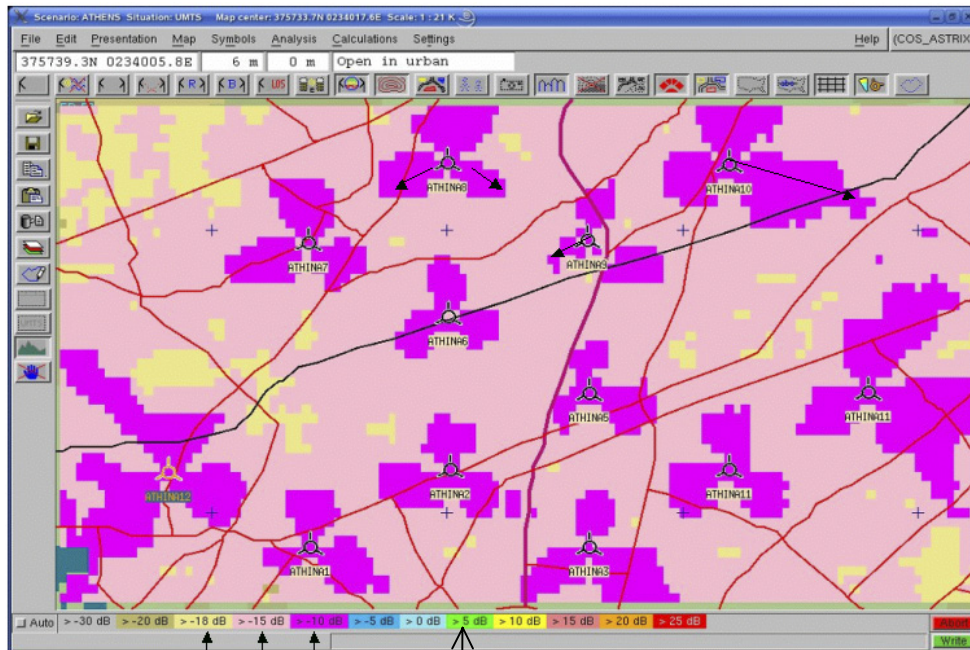
Σχήμα 19-35: DL Required Power σε dBm (un-optimized)



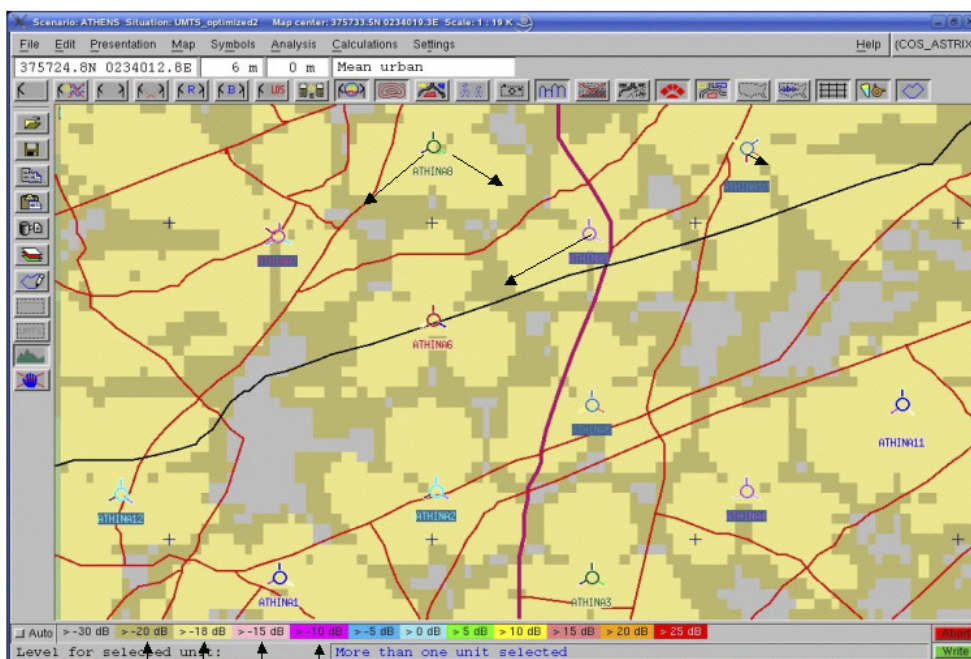
Σχήμα 19-36: DL Required Power σε dBm (optimized)

19.10.10 Pilot Ec/Io under heavy congestion

Σε αυτήν την προσομοίωση εξετάζουμε ένα σενάριο με πυκνότητα κίνησης $>200 Erl / Km^2$. Βεβαίως ένα τέτοιο σενάριο είναι πολύ σπάνιο, αλλά θα πρέπει ο διαχειριστής να εξετάζει και τα πιο ακραία σενάρια, προκειμένου να είναι σίγουρος για την αξιοπιστία του δικτύου του. Παρατηρούμε ότι έχουμε πολύ χαμηλό Ec/Io και μάλιστα σε ορισμένες περιοχές $> 10 dB$. Σε αυτές τις περιοχές η πιθανότητα παροχής κάποιων υπηρεσιών είναι μηδαμινή. Παρατηρούμε όμως ότι μετά την βελτιστοποίηση έχουμε απαλοιφή αυτών των περιοχών και επίσης 2-5 dB βελτίωση του Ec/Io.



Σχήμα 19-37: Pilot Ec/Io σε dB με πυκνότητα κίνησης $>200 Erl / Km^2$ (un-optimized)



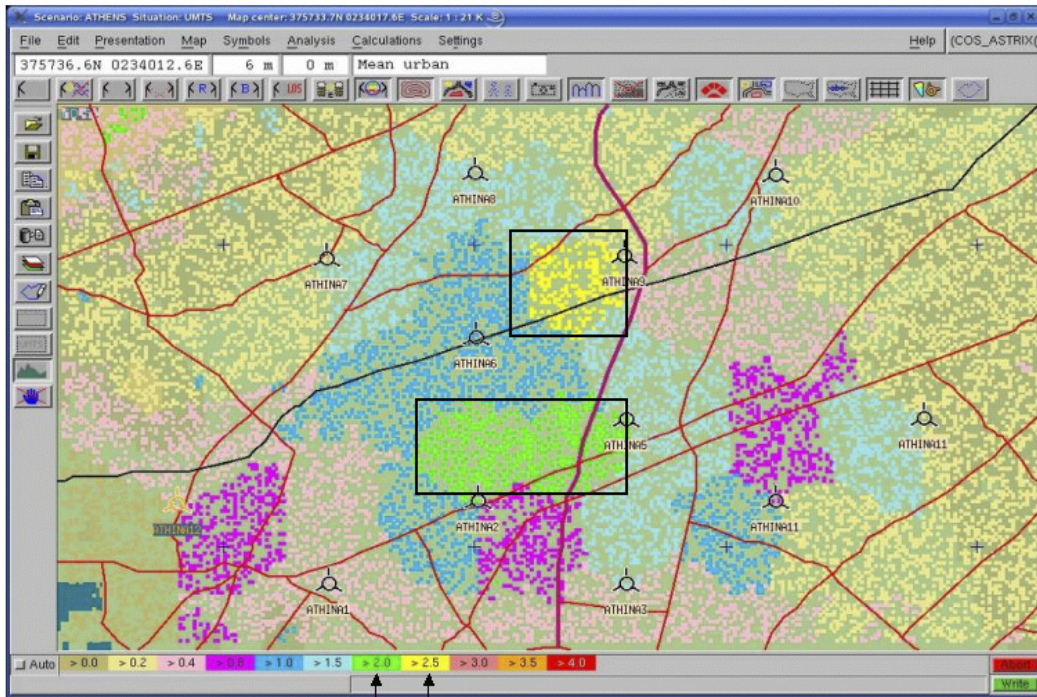
Σχήμα 19-38: Pilot Ec/Io σε dB με πυκνότητα κίνησης $>200 Erl / Km^2$ (optimized)

19.10.11 UL F- Ratio

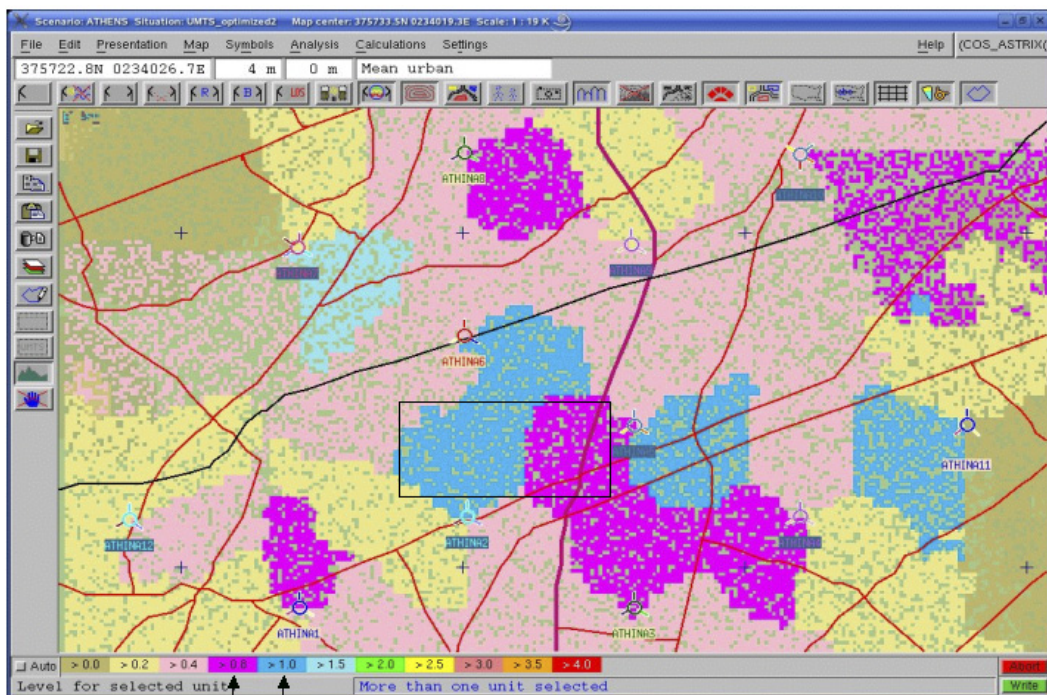
Ο παράγοντας F είναι από τους πιο σημαντικούς στο radio planning, καθώς εκφράζει το επίπεδο παρεμβολών από τον ένα σταθμό UMTS στον άλλο. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα εξετάζουμε το F-factor στην uplink κατεύθυνση. Δηλαδή τα interferences που ακούει ένας σταθμός βάσης.

$$f_{DL} = \frac{S_{servingcell}}{N_{adjacentcell_samecarrier}}$$

Από τις παρακάτω προσομοιώσεις βλέπουμε ότι το UL F-factor από >2.5 έγινε >1.



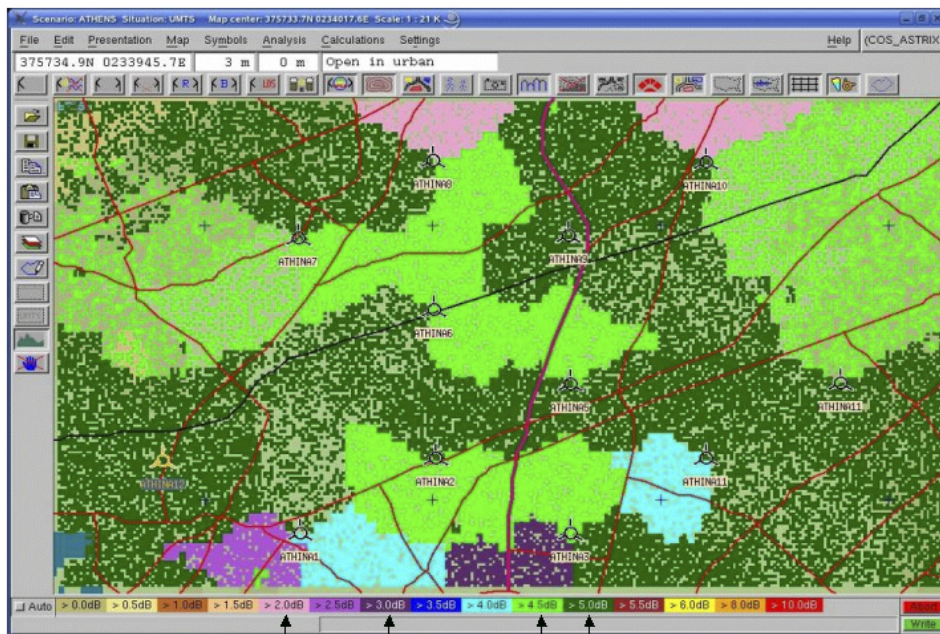
Σχήμα 19-39: UpLink F- Ratio (un-optimized)



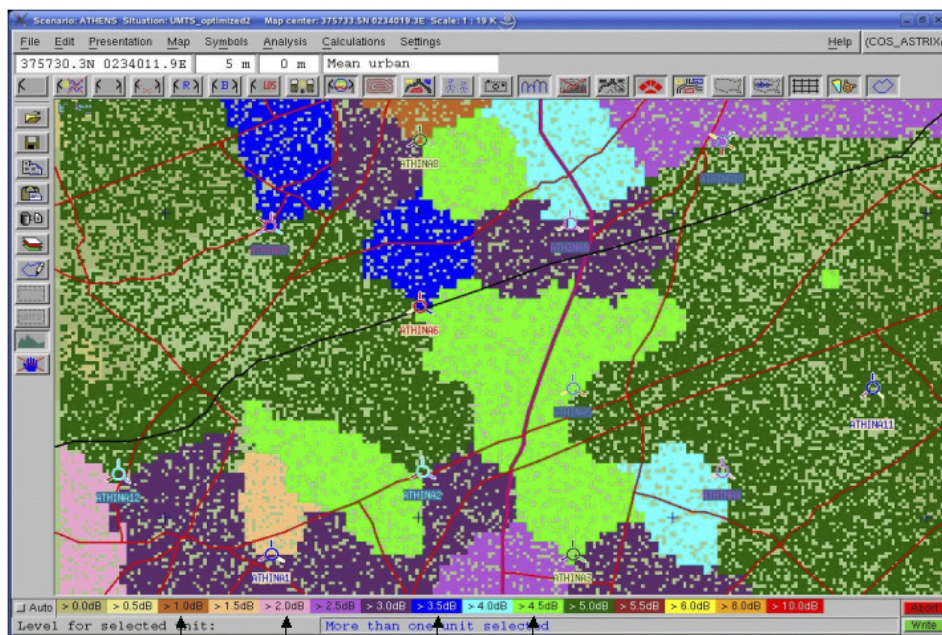
Σχήμα 19-40: UpLink F- Ratio (optimized)

19.10.12 UL Noise Rise

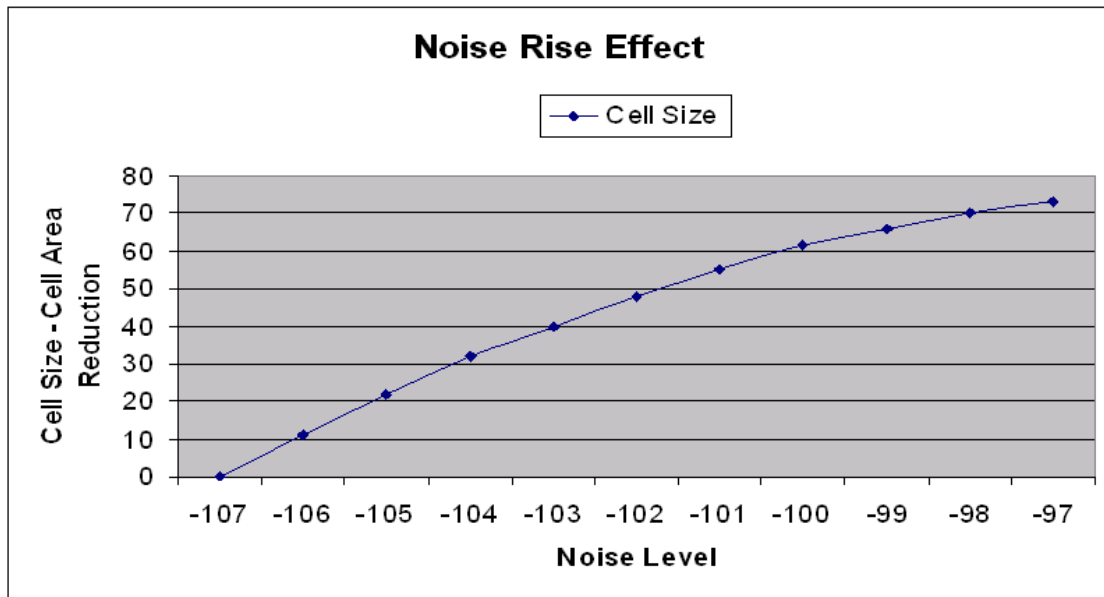
Ο δείκτης UL Noise Rise, εκφράζει τον ρυθμό που αύξοντα οι παρεμβολές στη Uplink κατεύθυνση, αυξανομένης της τηλεπικοινωνιακής κίνησης. Αυτή η αύξηση του θορύβου, οφείλεται στο γεγονός ότι ο μηχανισμός του power control δεν μπορεί πάντα να αντεπεξέλθει στο φαινόμενο των γρήγορων διαλείψεων (fast fading), που είναι συχνό σε ένα αστικό περιβάλλον με αρκετούς σκεδαστές. Έτσι σε συνάρτηση με το πλήθος των χρηστών έχουμε σημαντικά μεγάλη διαφυγή επιπλέον RF ενέργειας στην Uplink κατεύθυνση. Επίσης με αυτόν τον δείκτη εκτιμούμε πόσο έντονο είναι το cell-breathing στο δίκτυο. Στο Διάγραμμα 19-3 μπορούμε να δούμε την σχέση του cell resizing συναρτήσε του θορύβου. Σημειώνουμε ότι το επίπεδο λευκού θορύβου σε ένα κανάλι εύρους 5 MHz είναι -107 dBm.



Σχήμα 19-41: UL Noise Rise (un-optimized)



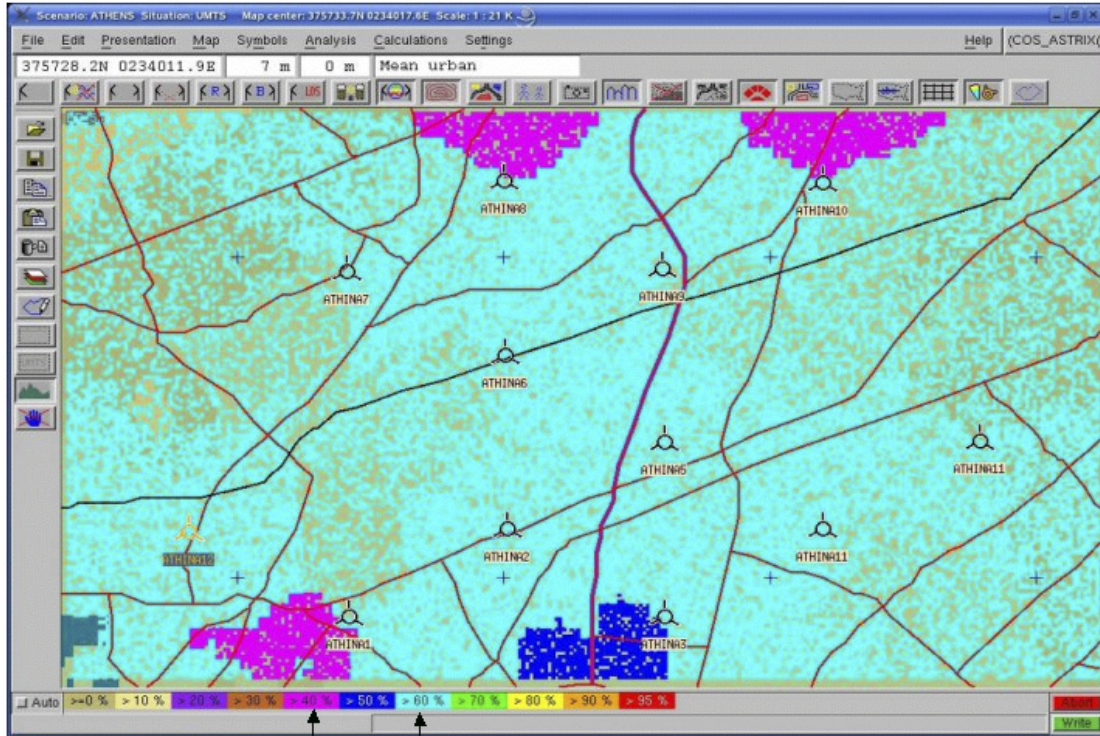
Σχήμα 19-42: UL Noise Rise (optimized)



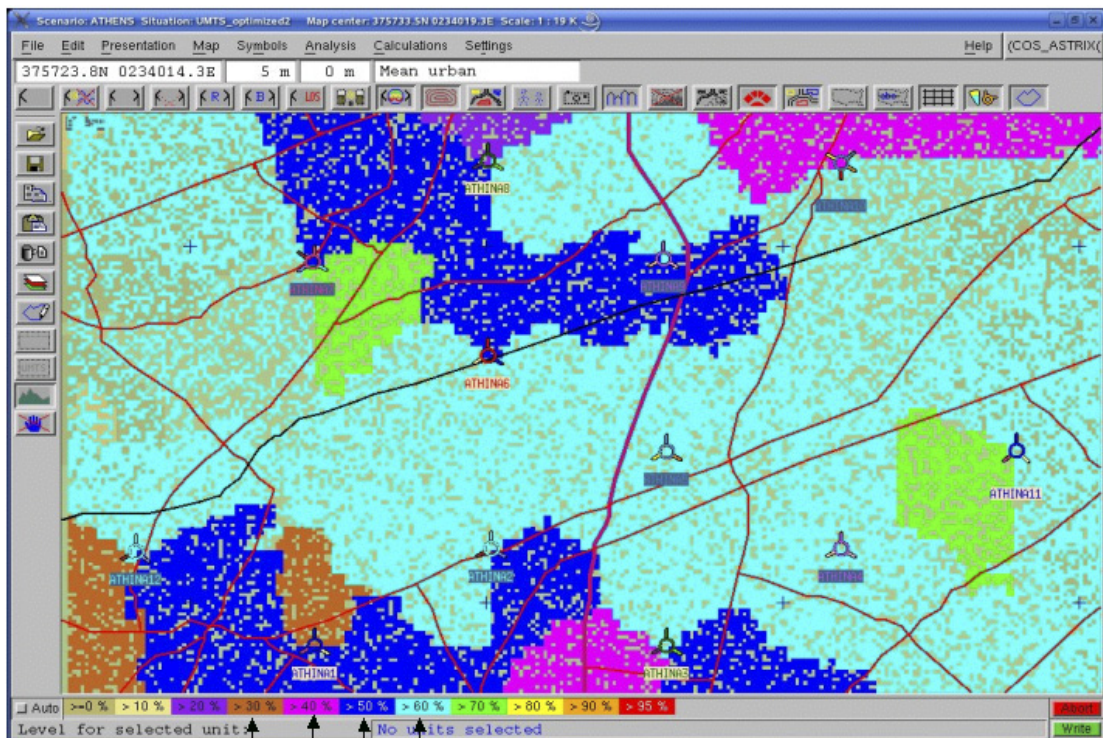
Διάγραμμα 19-3: Noise level and cell size reduction %

19.10.13 UL Wideband Load

Ο δείκτης UL Wideband Load μας δείχνει σε ποσοστιαία επί της % διαβάθμιση ότι και ο παραπάνω δείκτης UL Noise Rise. Βλέπουμε ότι με την βελτιστοποίηση έχουμε σε ορισμένες περιοχές έχουμε βελτίωση έως και 10 %.



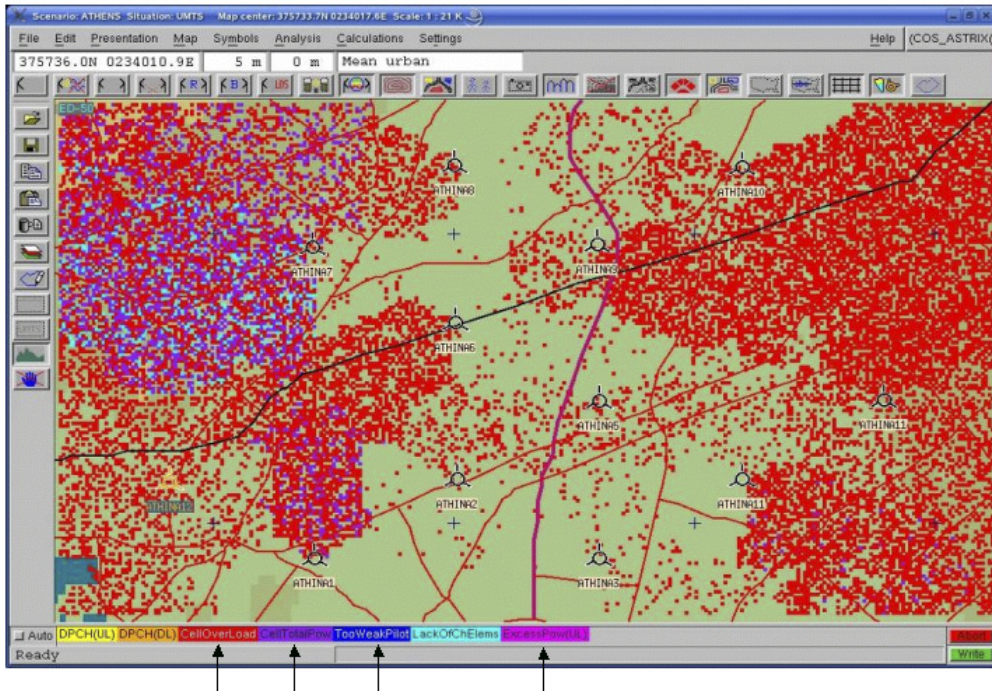
Σχήμα 19-43: UL Wideband Load (un-optimized)



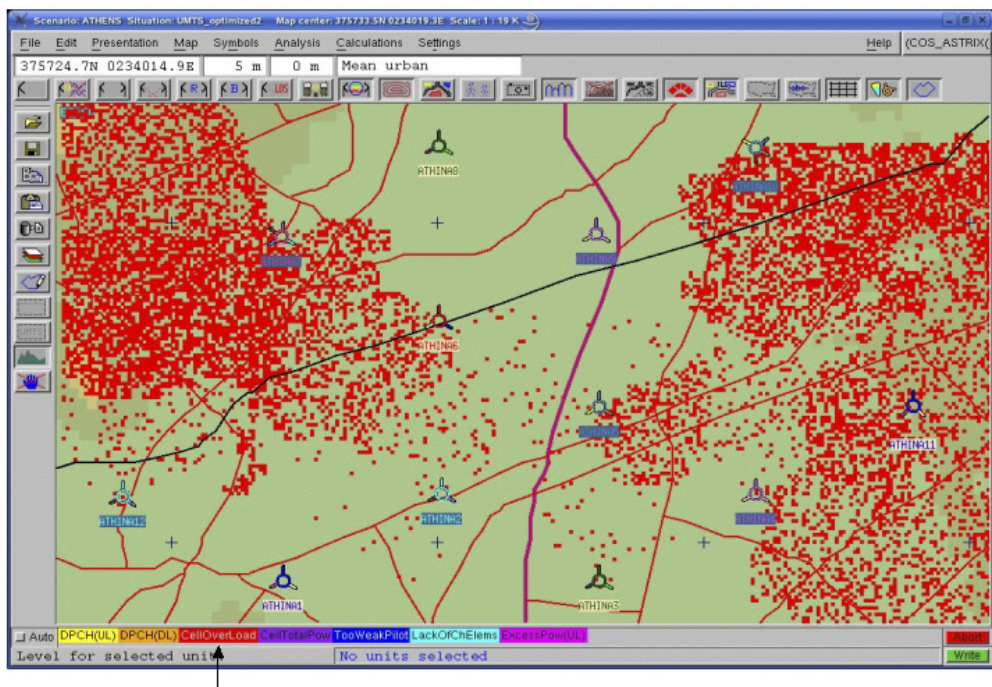
Σχήμα 19-44: UL Wideband Load (optimized)

19.10.14 Outage Reason

Σε αυτήν την προσομοίωση έχουμε εφαρμόσει Monte Carlo μοντέλο κίνησης με πυκνότητα τηλεπικοινωνιακής κίνησης $300 \text{ Erl} / \text{Km}^2$. Σε αυτό το σενάριο φέρνουμε σε οριακή κατάσταση το δίκτυο από πλευράς προσφερόμενης κίνησης. Στο un-optimized δίκτυο βλέπουμε ότι έχουμε τα εξής Outage Reasons: Excess Power UL, TooWeakPilot, CellTotalPower και CellOverload. Παρατηρούμε ότι μετά την βελτιστοποίηση το μόνο Outage Reason που παρατηρούμε είναι το CellOverload το οποίο και αυτό έχει περιοριστεί.



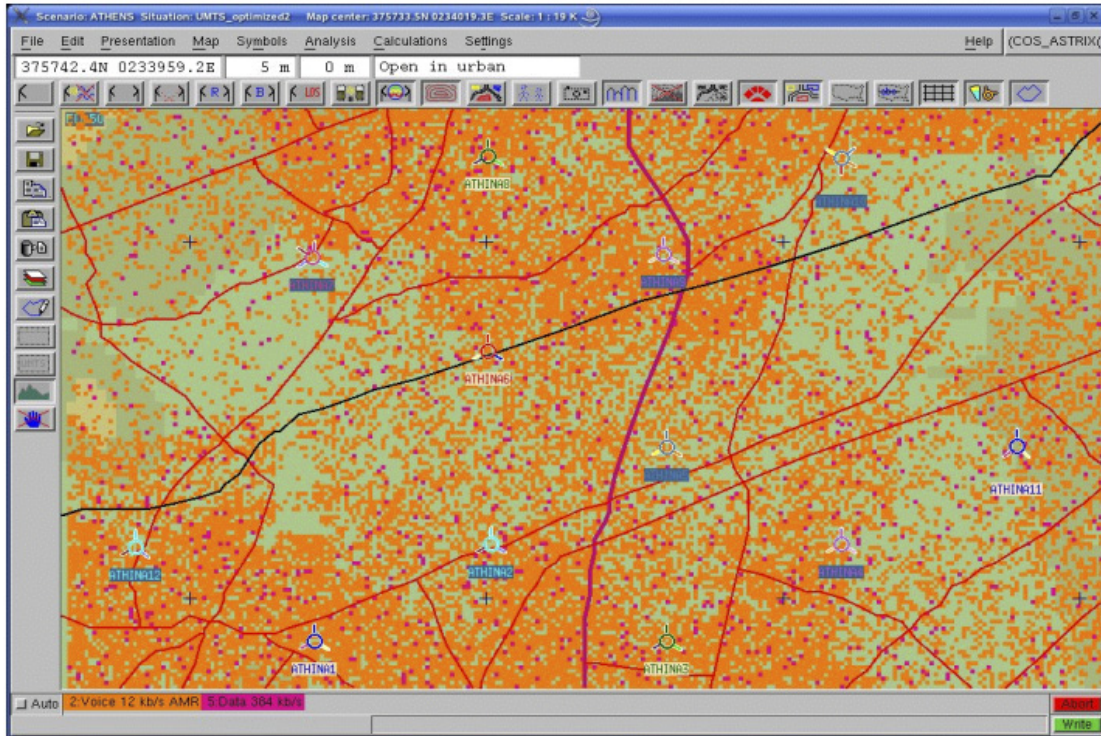
Σχήμα 19-45: Outage Reason (un-optimized)



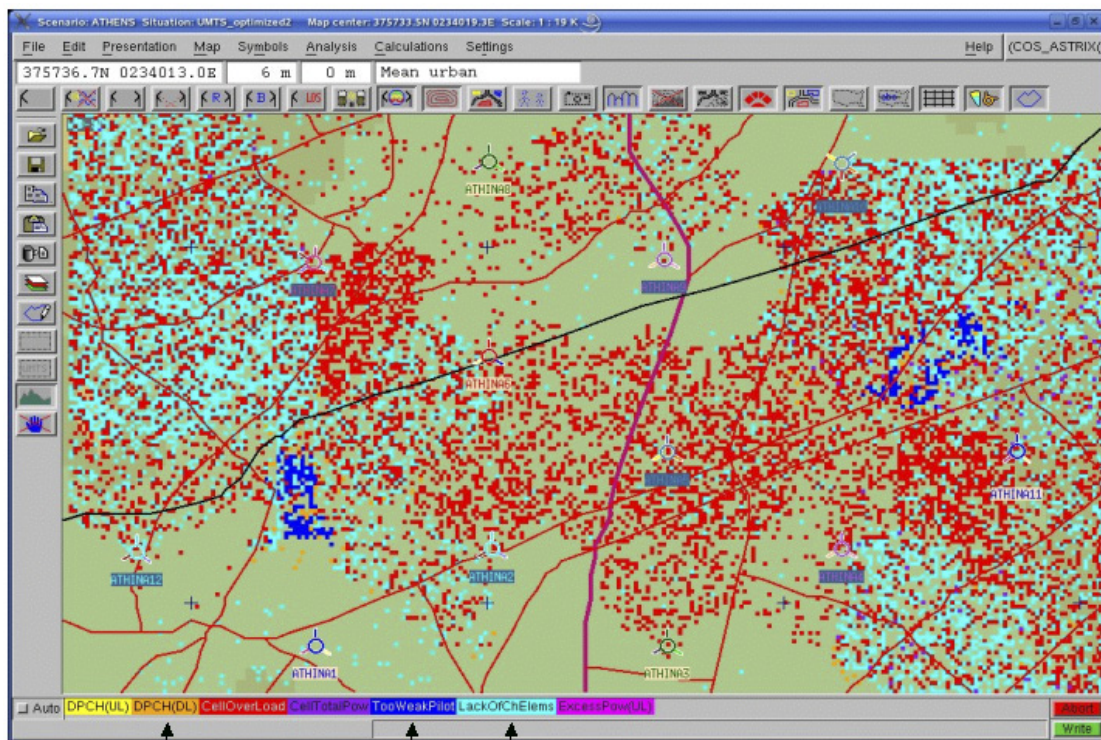
Σχήμα 19-46: Outage Reason (optimized)

19.10.15 Introducing BroadBand services – New problems

Σε αυτό το σενάριο εξετάζουμε τα προβλήματα που εισάγονται στο δίκτυο με την εισαγωγή νέων υπηρεσιών δεδομένων. Έτσι έχουμε εισάγει στο μοντέλο κίνησης Monte Carlo κίνηση Voice 12.2 kbps 200 Erl / Km² και Data 384 kbps 10 Erl / Km²
 Παρατηρούμε τον νέο outage reason Lack_of_Channels καθώς και το DPCH downlink.



Σχήμα 19-47: Γεωγραφική κατανομή των υπηρεσιών



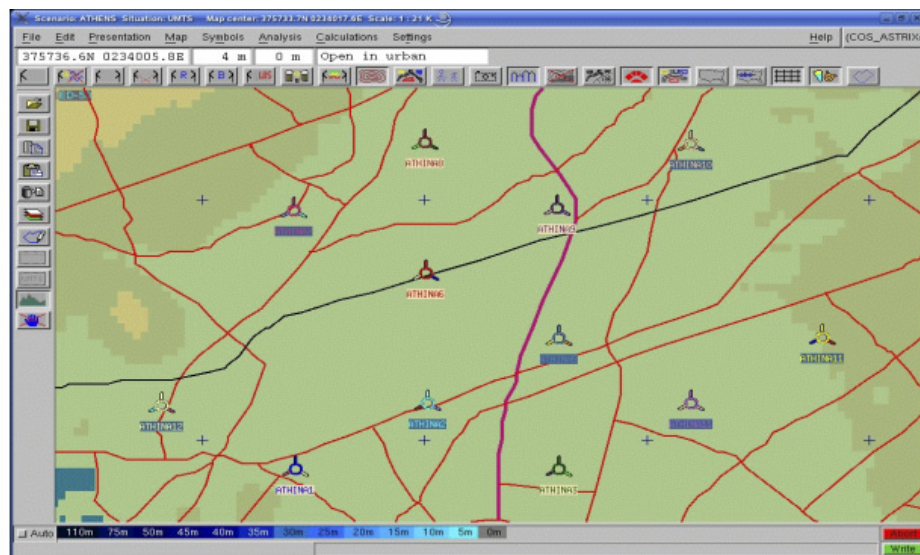
Σχήμα 19-47: Γεωγραφική κατανομή των outage reasons

19.10.16 GSM vs. UMTS

Σε αυτό το κεφαλαίο κάνουμε μια θεωρητική μελέτη της χωρητικότητας ενός δικτύου GSM και UMTS. Θεωρούμε ότι και τα δυο δίκτυα έχουν στην διάθεση τους 5 MHz ραδιοφάσματος. Δηλαδή 25 κανάλια GSM και 1 carrier UMTS. Και τα δυο δίκτυα προσομοιώνονται με κοινό μοντέλο και πυκνότητα κίνησης και με το ίδιο αριθμό σταθμών βάσης στην ίδια γεωγραφική περιοχή της Αθήνας. Το σχήμα sectorization είναι 3/9.

Η σύγκριση έγκειται στο να συγκρίνουμε την τηλεπικοινωνιακή κίνηση που μεταφέρεται και από τα δυο συστήματα με προσφερόμενη πυκνότητα κίνησης $100 \text{ Erl} / \text{Km}^2$ και με στόχο $\text{GOS}=5\%$.

Το αποτέλεσμα είναι ότι το GSM μπορεί να μεταφέρει 1033 Erlangs ενώ το UMTS έχει την δυνατότητα να μεταφέρει 1744 Erlangs. Δηλαδή κάτω από τις ίδιες συνθήκες με το UMTS έχουμε 68 % μεγαλύτερη χωρητικότητα. Βέβαια πρέπει να τονίσουμε ότι έχουμε θεωρήσει ομοιόμορφα κατανεμημένη κίνηση, κάτι που ευνοεί το UMTS σε σχέση με το GSM. Έτσι, αν είχαμε μη ομοιόμορφη κατανομή, τότε η διάφορα θα ήταν σημαντικά μικρότερη και ίσως να είχαμε σενάρια όπου το UMTS να είχε εντέλει μικρότερη χωρητικότητα.



Traffic density= $100 \text{ Erl} / \text{km}^2$ of voice services (12.2 kbps) GOS= 5 %

UMTS 1 wideband RF channel (5 MHz) Carried Erlangs=1744

GSM 25 RF Channels of 200Khz

Frequency reuse scheme 3/9

Carried Erlangs=1033

Σχήμα 19-48: GSM vs. UMTS

20 Τεχνικό Cell Breathing για την επίτευξη Load balancing σε δίκτυο UMTS

20.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιάσουμε μια μέθοδο αποσυμφόρησης δικτύων UMTS, βασισμένη σε δημιουργία τεχνικού cell breathing. Ως τεχνικό cell breathing στο UMTS ορίζουμε την τεχνητή μεταβολή της περιοχής κυριαρχίας μιας κυψέλης. Από ότι γνωρίζουμε για να έχουμε την βέλτιστη απόδοση από ένα δίκτυο κινητών επικοινωνιών και ιδιαίτερα στο UMTS, θα πρέπει να έχουμε όσον το πιο δυνατό ομοιόμορφη κατανομή χρηστών στους σταθμούς βάσης του δικτύου. Από ότι γνωρίζουμε στο UMTS η επιλογή του serving cell από το UE βασίζεται σε μετρήσεις του RX level από τους σταθμούς που καλύπτουν την περιοχή που βρίσκεται.

Στο UMTS ο μηχανισμός cell reselection μπορεί να βασιστεί σε δυο κριτήρια :

- i) Στο σηματοθορυβικό λόγο E_c/I_0 του καναλιού CPICH της κυψέλης προς τον συνολικό θόρυβο που επικρατεί στην είσοδο του δεκτή του UE.
- ή
- ii) Στην ένταση του λαμβανόμενου CPICH (scrambling code) Received Signal Code Power RSCP του κάθε σταθμού βάσης.

Επίσης στο UMTS έχουμε τριών ειδών cell reselection μηχανισμούς.

- Τον Intra-RAT cell reselection μηχανισμό, ο οποίος επιτρέπει στο UE να μπορεί να επιλέγει σαν κυρίαρχο σταθμό, κυψέλες που ανήκουν σε διαφορετική ασύρματη τεχνολογία RAT. Δηλαδή μπορεί να έχουμε reselection μεταξύ UMTS – GSM 900 ή UMTS – DCS 1800.
- Το UMTS HCS or inter-frequency cell reselection μηχανισμό, ο οποίος επιτρέπει το reselection μεταξύ κυψελών που λειτουργούν σε διαφορετικό RF carrier ή βρίσκονται σε διαφορετικό ιεραρχικό επίπεδο (Pico, micro, macro).
- Το UMTS intra-frequency cell reselection μηχανισμό, οποίος επιτρέπει το reselection μεταξύ σταθμών βάσης που λειτουργούν στο ίδιο RF carrier αλλά φυσικά με διαφορετικό scrambling code.

Ο intra-frequency cell και ο Intra-RAT cell reselection είναι οι μηχανισμοί που σήμερα χρησιμοποιούνται κατά κόρον.

20.1.1 Inter RAT cell mechanism

Αυτός ο μηχανισμός ακολουθεί την παρακάτω μαθηματική σχέση:

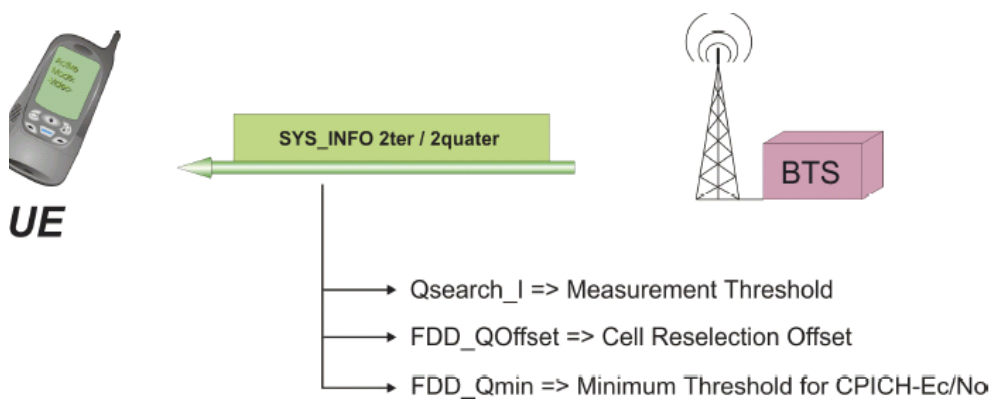
$$\left\{ \begin{array}{l} QRxlevelmeas(neigh,FDD) > RXlev(serv)+FDD_Qoffset \\ Qqual(neigh,FDD) > FDD_Qmin \end{array} \right.$$

όπου **QRXlevelmeas(neigh,FDD)** είναι το RSCP σε dBm του 1ου BTS που ανήκει σε διαφορετικό RAT, στο ranking list του UE, **RXLEV(serv)** είναι το RSCP power σε dBm του serving Node B, **FDD_Qoffset** μια offset παράμετρος που παίρνει τιμές από -50 έως +50. Αυτή η τιμή μπορεί να παίρνει αρνητικές ή θετικές τιμές αναλόγως την προτεραιότητα που θέλει να δώσει ο διαχειριστής του δικτύου σε κάθε RAT.

Qualmeas(neigh,FDD) είναι το E_c/I_o σε dB και το **FDD_Qmin** είναι μια παράμετρος κατωφλίου που παίρνει τιμές από -24 έως 0 dB.

Έτσι έχουμε,
$$\frac{E_c}{I_o} = \frac{P_{CPICH} / L_p}{\sum_{i=1}^{BS} P_{BSi} / L_{pi} + I_{ACI} + N_o}$$
, όπου P_{CPICH} η ισχύς που έχει ανατεθεί στο

CPICH, L_p η απώλειες του ασύρματου μέσου, I_{ACI} παρεμβολές από γειτονικά RF κανάλια, P_{BSi} η εκπεμπόμενη ισχύς παρεμβολής από τον i-οστό γειτονικό cell που εκπέμπει στο ίδιο RF carrier, L_{pi} η απώλεια παρεμβολής από τον i-οστό γειτονικό cell που εκπέμπει στο ίδιο RF carrier και N_o the θερμικός θόρυβος.



Σχήμα 20-1: Inter RAT cell reselection

20.1.2 Intra-Frequency Cell Reselection Criteria

Τώρα θα δούμε τον μηχανισμό intra-frequency UMTS cell reselection.

Κάθε UE, έχει μια ranking list με τα υπονήφια Node Bs για επιλογή. Αυτή η κατάταξη όπως είπαμε γίνεται είτε με το E_c/I_0 είτε με το Received Signal Code Power RSCP κάθε Node B.

Για να έχουμε reselection σε ένα γειτονικό Node B θα πρέπει:

$$S_n > 0$$

$$Q_n > Q_s + Q_{\text{offsets},n} + Q_{\text{hyst}}$$

όπου S_n σε dB. Δηλαδή εκφράζει το margin σε dB μεταξύ τρέχοντος μετρήσεων και του ελάχιστου κατωφλίου, που θα έχει η ραδιοζεύξη.

Q_n είναι η μέτρηση ποιότητας του γειτονικού σταθμού βάσης σε dB να χρησιμοποιείται το E_c/I_0 ή σε dBm αν έχουμε σαν κριτήριο το RSCP,

Q_s είναι η μέτρηση ποιότητας του serving σταθμού βάσης σε dB ή dBm αναλόγως.

$Q_{\text{offsets},n}$ είναι η Offset παράμετρος μεταξύ των δυο cells σε dB και Q_{hyst} Hysteresis η τιμή της υστέρησης για την αποφυγή του φαινομένου Ping pong σε dB.

Αναλυτικά έχουμε :

$$S_n = Q_{\text{qualmeas}} - Q_{\text{qualmin}}, \text{ αν χρησιμοποιούμε το } E_c/I_0$$

Q_{qualmeas} Η ποιότητα του CPICH E_c/I_0 σε dB.

Q_{qualmin} Η ελάχιστη απαιτούμενη ποιότητα του E_c/I_0 σε dB.

ή

$$S_n = Q_{\text{rxlevmeas}} - Q_{\text{rxlevmin}} - P_{\text{compensation}}$$

$Q_{\text{rxlevmeas}}$ η μετρούμενη RX level τιμή δηλαδή η μετρούμενη CPICH RSCP σε dBm.

Q_{rxlevmin} η ελάχιστη τιμή του κατωφλιού RX level σε dBm.

$P_{\text{compensation}}$ είναι ίσο με $\max(\text{UE_TXPWR_MAX_RACH} - P_{\text{MAX}}, 0)$ σε dB,

όπου UE_TXPWR_MAX_RACH είναι η μέγιστη τιμή που μπορεί να χρησιμοποιηθεί από το UE για την πρόσβαση στο RACH (αυτή η τιμή μεταδίδεται στα broadcasted SYS Info) και P_{MAX} η μέγιστη ισχύς του UE που επιτρέπεται από την power class του.

20.1.3 Inter-Frequency Cell Reselection Criteria HSC

Ομοίως για το Inter-Frequency Cell Reselection Criteria HSC έχουμε:

$$H_s = Q_{\text{meas},s} - Q_{\text{hcss}}$$

$$H_n = Q_{\text{meas},n} - Q_{\text{hcsn}} - T_{\text{On}} * L_n$$

20.1.4 Το κριτήριο ταξινόμησης κυψελών (cell-ranking criterion) R

Το κριτήριο ταξινόμησης καθορίζεται από ξεχωριστές μαθηματικές συναρτήσεις για το serving cell R_s και για τα γειτονικά R_n .

$$R_s = Q_{meas,s} + Q_{hysts} + Q_{offmbms}$$

$$R_n = Q_{meas,n} - Q_{offsets,n} + Q_{offmbms} - T_{On} * (1 - L_n)$$

όπου:

$Q_{offset1s,n}$ το οποίο καθορίζει το offset μεταξύ των δυο κυψελών, δηλαδή serving και neighbor και εφαρμόζεται μόνο όταν έχουμε reselection βάση του CPICH RSCP.

$Q_{offset2s,n}$ το οποίο καθορίζει το offset μεταξύ των δυο κυψελών, δηλαδή serving και neighbor και εφαρμόζεται μόνο όταν έχουμε reselection βάση του CPICH Ec/No.

$$T_{On} = TEMP_OFFSET_n * W(PENALTY_TIME_n - T_n)$$

$$L_n = 0 \text{ if } HCS_PRIO_n = HCS_PRIO_s$$

$$L_n = 1 \text{ if } HCS_PRIO_n \neq HCS_PRIO_s$$

$$W(x) = 0 \text{ for } x < 0$$

$$W(x) = 1 \text{ for } x \geq 0$$

$TEMP_OFFSET_n$ εφαρμόζει ένα offset στα H και R criteria κατά την διάρκεια του $PENALTY_TIME_n$ μετά από τον μετρητή T_n που έχει αρχίσει να μετράει από την λήψη του γειτονικού σταθμού.

$TEMP_OFFSET_n$ and $PENALTY_TIME_n$ εφαρμόζονται μόνο όταν έχουμε δίκτυο που εφαρμόζεται με HCS. Με αυτές τις παραμέτρους μπορούμε να ελαχιστοποιήσουμε τον αριθμό hard-handover, για ταχέως κινούμενα UE τα οποία θα πρέπει να εξυπηρετούνται από macro cells και όχι micro. Σε αντίστοιχο κεφάλαιο του C2 για το GSM έχουμε περιγράψει και την αντίστοιχη λειτουργία για τις παραμέτρους temporary offset.

20.2 Περιγραφή της τεχνικής

Από ότι είδαμε από την περιγραφή του cell reselection μηχανισμού στο UMTS, υπάρχουν offset παράμετροι αντίστοιχοι του C2, με τις οποίες μπορούμε να επιτύχουμε μεταβολή των περιοχών κυριαρχίας. Στο UMTS όμως έχουμε την δυνατότητα να μεταβάλουμε και την ισχύ του CPICH, προκείμενου να ελέγξουμε την περιοχή κυριαρχίας του Node B. Η σωστή ανάθεση ισχύος στο CPICH είναι πολύ σημαντική. Αν απονεμηθεί μεγαλύτερη από την πρόβλεψη ισχύ στο CPICH, τότε αυξάνουμε το επίπεδο των παρεμβολών σε όλο το δίκτυο. Επίσης έχουμε σπατάλη ισχύος στο CPICH, με αποτέλεσμα να μειώνουμε σημαντικά την χωρητικότητα του Node B σε περίπτωση που έχουμε downlink limited σενάριο. Δηλαδή η παραπάνω ισχύς που έχει απονεμηθεί στο CPICH θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για κάποιο κανάλι κίνησης. Σε αντίθεση αν χρησιμοποιήσουμε μικρότερη ισχύ στο CPICH, τότε η περιοχή κυριαρχίας είναι μικρή και δεν θα αξιοποιηθούν πλήρως οι δυνατότητες της κυψέλης.

Από όλα τα προλεγόμενα είναι κατανοητό ότι μπορούμε να μεταβάλουμε την περιοχή κυριαρχίας όποτε χρειάζεται, π.χ περίπτωση ανομοιόμορφης κατανομής των χρηστών στο δίκτυο, με προσεκτική μεταβολή της ισχύος στο CPICH.

Αυτή η μεταβολή σε ένα Node B προσφέρει το εξής πλεονέκτημα σε σχέση με μια απλή αλλαγή των Q_{offset} παραμέτρων όπως με το C2. Μειώνοντας την ανατεθείσα ισχύ στο CPICH, μπορούμε να εξοικονομήσουμε ισχύ για την εξυπηρέτηση καναλιών κίνησης.

Για να μπορέσουμε να κάνουμε εκτίμηση των δυνατοτήτων αυτής της τεχνικής θα πρέπει να εκφράσουμε με μαθηματικές συναρτήσεις την ισχύ που χρειάζεται από τον σταθμό βάσης για να εξυπηρετηθεί μια σύνδεση με κινητό τερματικό.

Η παρακάτω μαθηματική σχέση μας δίνει την ισχύ σε dBm που χρειάζεται στην downlink κατεύθυνση για μια συγκεκριμένη υπηρεσία και για συγκεκριμένο path loss.

$$P_{Ti} \geq L_p(d_i) \frac{P_N + \chi_i + \rho \times \frac{P_{BTS}}{L_p(d_i)}}{\frac{SF_i}{(E_b/N_0)_i r} + \rho}$$

όπου, P_N είναι η ισχύς του λευκού θορύβου, P_{BTS} η ισχύς του Node B, $L_p(d_i)$ το path loss για την απόσταση d_i , ρ orthogonal factor και εξαρτάται από την δομή και αρχιτεκτονική του δικτύου, χ_i η inter-cell interference που παρατηρεί ο i -οστος χρήστης, E_b/N_0 ο σηματοθορυβικό λόγος του Bit, ο οποίος εξαρτάται από το BLER που απαιτεί η συγκεκριμένη υπηρεσία, r το coding rate και SF το spreading factor.

Επίσης, η παρακάτω συνάρτησα μας δίνει τον αριθμό των χρηστών που μπορούν να εξυπηρετηθούν από ένα Node B,

$$N = \frac{P_{BTS}}{\frac{E_b/N_0}{W/R} \cdot v \cdot [P_{noise} \cdot L_{an} + P_T \cdot (1-a) + i]}$$

όπου, P η ισχύς του wide amplifier χωρίς την ισχύ του CPICH, E_b/N_0 είναι ο σηματοθορυβικός λόγος της ενέργειας του Bit για κάθε υπηρεσία, W το chip rate, R ο L2 ρυθμός δεδομένων, v το service activity, P_{noise} το background noise, L_{an} το μέσο downlink path loss, a το orthogonality και i οι παρεμβολές από γειτονικά cells που λαμβάνει το κινητό τερματικό.

Από ότι βλέπουμε και στις δυο παραπάνω σχέσεις έχουμε την παράμετρο δηλαδή το path loss. Για να το υπολογίσουμε χρησιμοποιούμε συγκεκριμένα δοκιμασμένα μοντέλα ραδιοκάλυψης, τα οποία έχουν υποστεί βελτιώσεις για κάποια είδη περιοχών. Έτσι έχουμε το μοντέλο του Okumura-Hata που χρησιμοποιείται και στο ASTRIX, αυτούσιο ή τροποποιημένο. Η μέθοδος του Okumura αναπτύχθηκε χρησιμοποιώντας στοιχεία μετρήσεων που πάρθηκαν σε διάφορες συχνότητες στην αστική και ημιαστική περιοχή του Τόκιο. Έτσι η επιλογή αυτής της μεθόδου είναι πιο κατάλληλη για αστικοποιημένες περιοχές, όπου η απόσταση μελέτης είναι σχετικά μικρή (μικρότερη από 30km), το ενεργό ύψος της κεραίας του πομπού είναι μικρότερο από 200 m, το ενεργό ύψος της κεραίας του δέκτη είναι μικρότερο από 10 m και το έδαφος είναι σχετικά επίπεδο. Η χρήση αυτής της μεθόδου κάτω από άλλες συνθήκες μπορεί να αποδειχθεί ακατάλληλη. Στις μεθόδους του Okumura (Hata), μπορούμε να επιλέξουμε τους τύπους τοπικής περιοχής να είναι **ανοιχτή**, **ημιαστική** και **αστική** και να εφαρμόσουμε τους κατάλληλους παράγοντες διόρθωσης.

Οι εξισώσεις του Hata είναι οι ακόλουθες:

Βασικές απώλειες διαδρομής για αστικές περιοχές:

$$L_u = 69.55 + 26.16 \log_{10} f - 13.82 \log_{10} h_b - a_{hm} + (44.9 - 6.55 \log_{10} h_b) \log_{10} d \quad \text{dB}$$

όπου

$$f = \text{συχνότητα σε MHz}$$

h_b = ύψος κεραίας βάσης σε μέτρα πάνω από το ανάγλυφο του εδάφους στην περιοχή της μελέτης (3 – 15km)
 ah_m = παράγοντας διόρθωσης του ύψους του κινητού
 d = απόσταση από τον πομπό μέχρι το δέκτη σε χιλιόμετρα.

Για μια μεσαία – μικρή πόλη (Χρησιμοποιείται αυτόματα όταν έχουμε επιλέξει ανοιχτή ή ημιαστική περιοχή):

$$ah_m = (1.11\log_{10}f - 0.7)h_m - (1.56\log_{10}f - 0.8)$$

Για μεγάλη πόλη (Χρησιμοποιείται αυτόματα όταν επιλέξουμε αστική περιοχή):

$$ah_m = 8.29(\log_{10}(1.54h_m))^2 - 1.1 \text{ για } f \leq 200 \text{ MHz}$$

$$ah_m = 3.20(\log_{10}(11.75h_m))^2 - 4.97 \text{ για } f \geq 400 \text{ MHz}$$

Για ημιαστικές περιοχές, η απώλεια που υπολογίστηκε για αστική περιοχή έχει διορθωθεί σύμφωνα με τον ακόλουθο τύπο:

$$L_{su} = L_u - 2(\log_{10}(f/28))^2 - 5.4 \text{ dB}$$

Για αγροτικές ανοιχτές περιοχές η αστική απώλεια, έχει διορθωθεί ως εξής:

$$L_{ro} = L_u - 4.78(\log_{10}f)^2 + 18.33\log_{10}f - 40.94 \text{ dB}$$

Επίσης έχουμε και το εκτεταμένο Okumura (Hata), το οποίο είναι ένα εξειδικευμένο μοντέλο που βασίζεται στο μοντέλο του Hata που περιγράφηκε προηγουμένως. Για να επεκταθεί η περιοχή τιμών των συχνοτήτων, της απόστασης της μελέτης και του ύψους του σταθμού βάσης, χρησιμοποιήθηκαν γραφικές μέθοδοι για να εξαχθούν οι καμπύλες συχνοτήτων στην περιοχή 30 με 1500 MHz, για περιοχές κάλυψης μέχρι 300 km και ύψη σταθμών βάσης από 30 μέχρι 1000 m. Ξεκινώντας με τις απώλειες διαδρομής που βρέθηκαν για το μοντέλο του Hata, οι επόμενες εξισώσεις χρησιμοποιούνται για να προσαρμόσουν τις απώλειες αυτές:

Av $d > 20$ km,

$$L_{H-E} = L_{HATA} + 0.5 + 0.15\log_{10}(h_b/121.92)(d - 20)$$

Av $d > 64.38$ km,

$$L_{H-E} = L_{HATA} - 0.174(d - 64.38)$$

Av $h_b > 300$ m,

$$L_{H-E} = L_{HATA} - 4.7 \left| \log_{10} \left(\frac{9.98}{d} \right) \right| \left(\frac{h_b - 300}{600} \right)$$

Αφού έχουν γίνει οι παραπάνω διορθώσεις, γίνονται και οι τελικές διορθώσεις που ακολουθούν:

$$L_{H-E} = L_{HATA} - \left(\frac{f}{250} \right) \log_{10} \left(\frac{1500}{f} \right)$$

Av $d > 40.2$ km,

$$L_{H-E} = L_{HATA} - 0.18 \log_{10} \left(\frac{1500}{f} \right) (d - 40.2)$$

όπου:

L_{HATA} = απώλειες διαδρομής σε dB υπολογισμένες με το μοντέλο του Hata

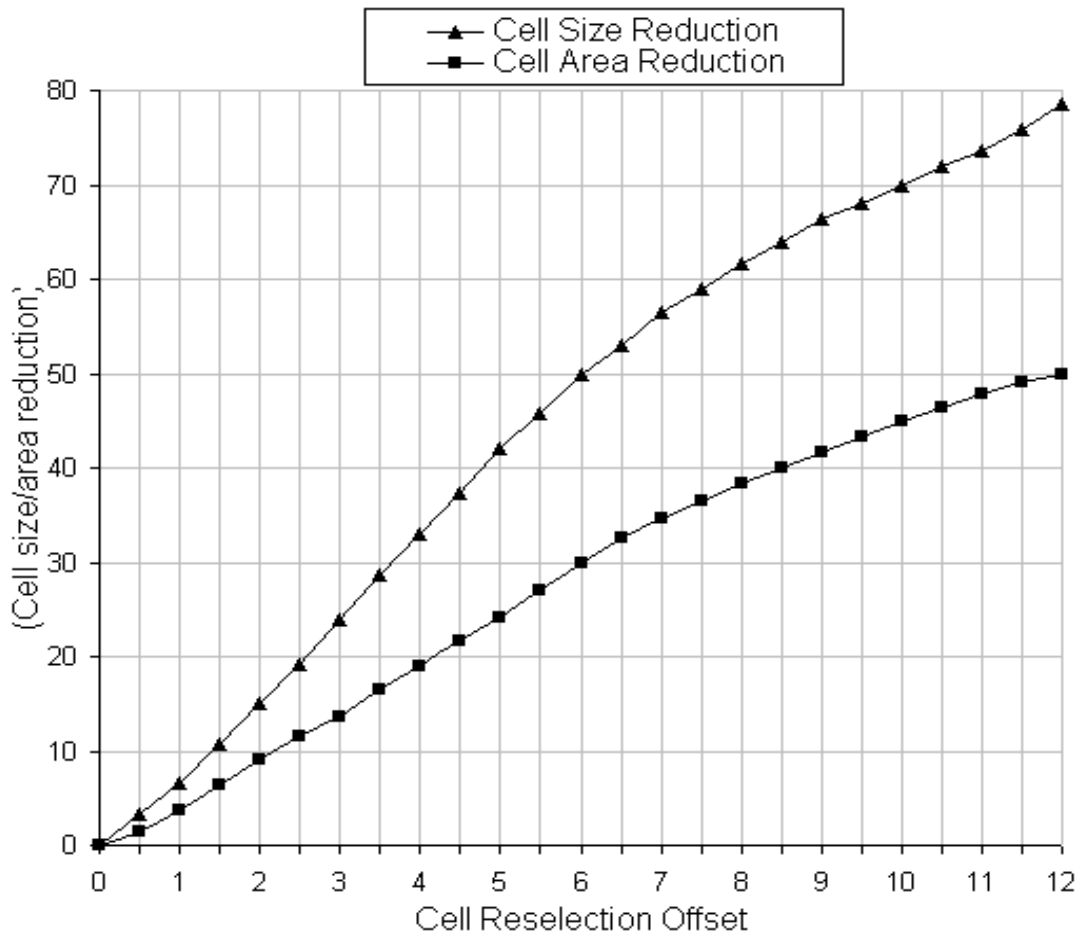
L_{H-E} = απώλειες διαδρομής σε dB με την εκτεταμένη μέθοδο του Hata

f = συχνότητα σε MHz

d = απόσταση από τον πομπό μέχρι το δέκτη σε km

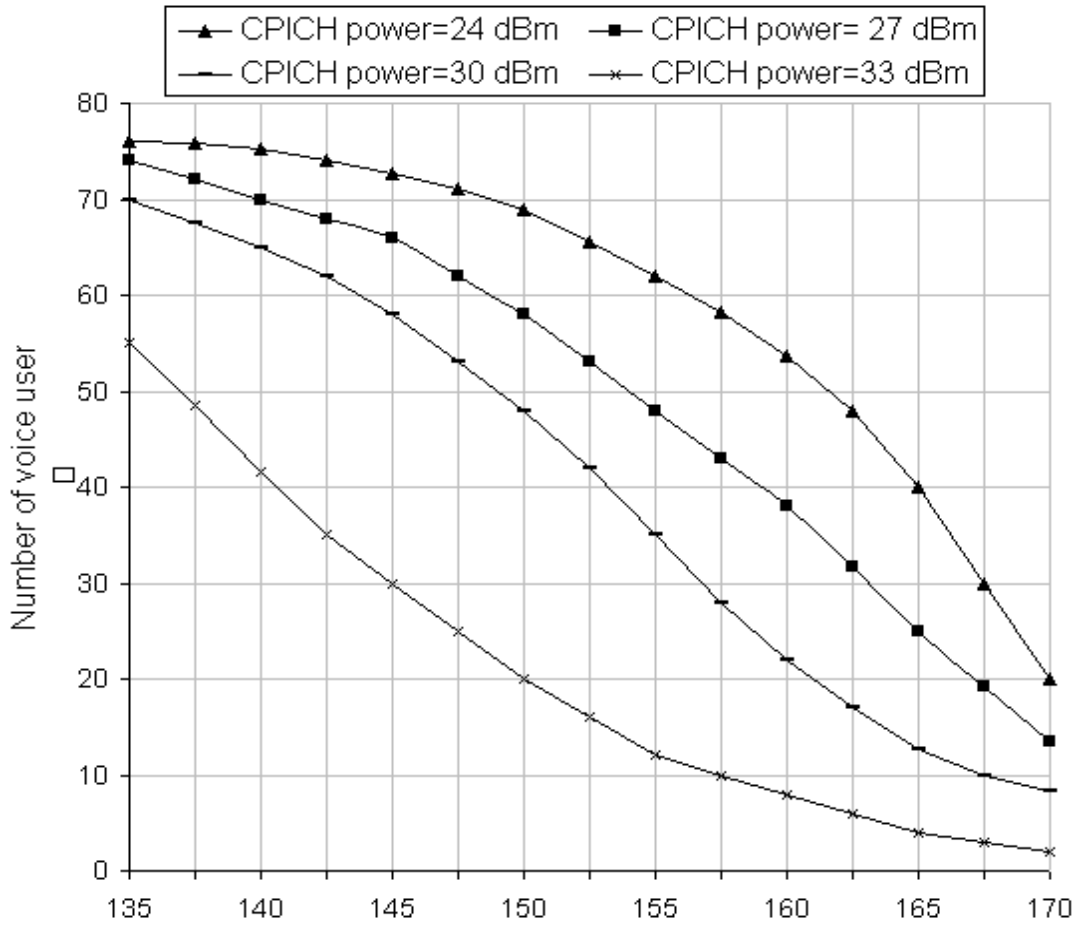
h_b = ενεργό ύψος σταθμού βάσης σε m

Βάση των παραπάνω σχέσεων μπορούμε να εξάγουμε κάποια πολύ χρήσιμα Διαγράμματα 20-1 και 20-2, τα οποία δείχνουν την επίδραση της μεταβολής της ισχύος του CPICH στο μέγεθος της περιοχής κυριαρχίας. Στο μοντέλο ραδιοκάλυψης θεωρούμε σαν συχνότητα λειτουργίας $f = 2000$ MHz.



Διάγραμμα 20-1: Ποσοστιαία μεταβολή του cell size και cell area σε συνάρτηση με την μείωση σε dB της ισχύος του CPICH ή του Q_{offset} .

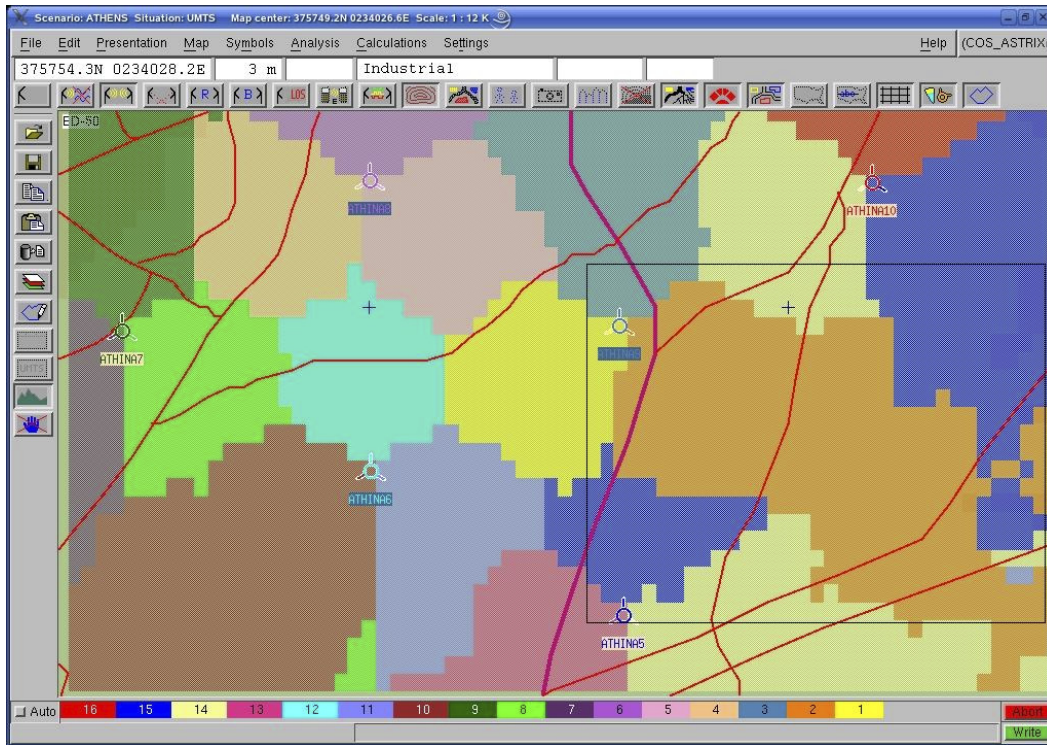
Στο παρακάτω διάγραμμα μπορούμε να δούμε την επίδραση στην χωρητικότητα μιας UMTS κυψέλης, για διαφορετικά επίπεδα ισχύος στο CPICH για υπηρεσία φωνής 12.2 Kbps και για path losses από 135 έως 170 dB.



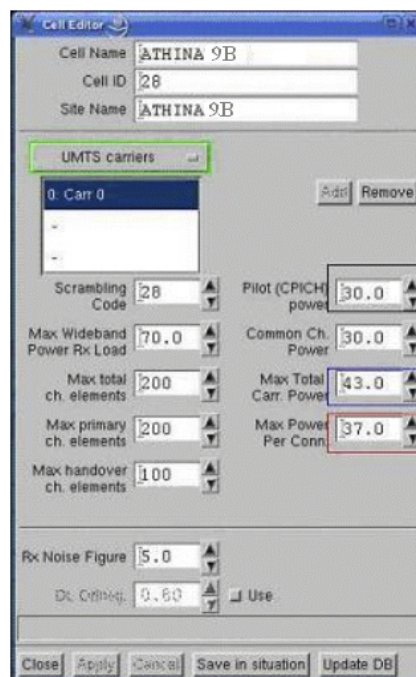
Διάγραμμα 20-2: Ποσοστιαία μεταβολή της χωρητικότητας σε χρήστες φωνής συναρτήσει με το path loss.

20.3 Πειραματικά αποτελέσματα

Σε αυτό το κεφάλαιο θα δείξουμε τα αποτελέσματα αυτής της τεχνικής σε ένα δίκτυο UMTS. Θεωρούμε μια περιοχή του δικτύου όπως φαίνεται στο Σχήμα 20-2 που γεωγραφικά βρίσκεται στο κέντρο της Αθήνας. Σε αυτό το δίκτυο βλέπουμε 6 σταθμούς βάσης με 3 κυψέλες ο καθένας. Συνολικά έχουμε 18 κυψέλες. Κάθε κυψέλη έχει μια κεραία sector 65 deg και όλες έχουν το ίδιο configuration όπως στο Σχήμα 20-3. Δηλαδή κάθε κυψέλη έχει δικό της ενισχυτή 20 Watt και με ανάθεση 1 Watt στο CPICH.



Σχήμα 20-2: Περιοχές κυριαρχίας ενός UMTS δίκτυο με 18 κυψέλες.



Σχήμα 20-3: Τυπικό Configuration κάθε κυψέλης

Με την βοήθεια του radio planning tool ASTRIX και του ειδικού module για UMTS simulation, εφαρμόζουμε με το μοντέλο Monte Carlo ομοιόμορφη προσφερόμενη κίνηση με πυκνότητα 100 Erl/Km^2 στις 15 κυψέλες. Στην κυψέλη ATHINA9B με περιοχή κυριαρχίας μέσα στο τετράγωνο όπως φαίνεται στο Σχήμα 20-2, εφαρμόζουμε προσφερόμενη κίνηση πυκνότητα 150 Erl/Km^2 . Έτσι έχουμε διαμορφώσει ένα τυπικό σενάριο στο οποίο η τεχνική μας μπορεί να εφαρμοστεί όπως έχουμε αναφέρει. Μετά την εξομοίωση του σεναρίου με τον ASTRIX έχουμε τα στατιστικά αποτελέσματα που δείχνουν το πρόβλημα που υπάρχει μεμονωμένα στην κυψέλη ATHINA9B Σχήμα 20-4.

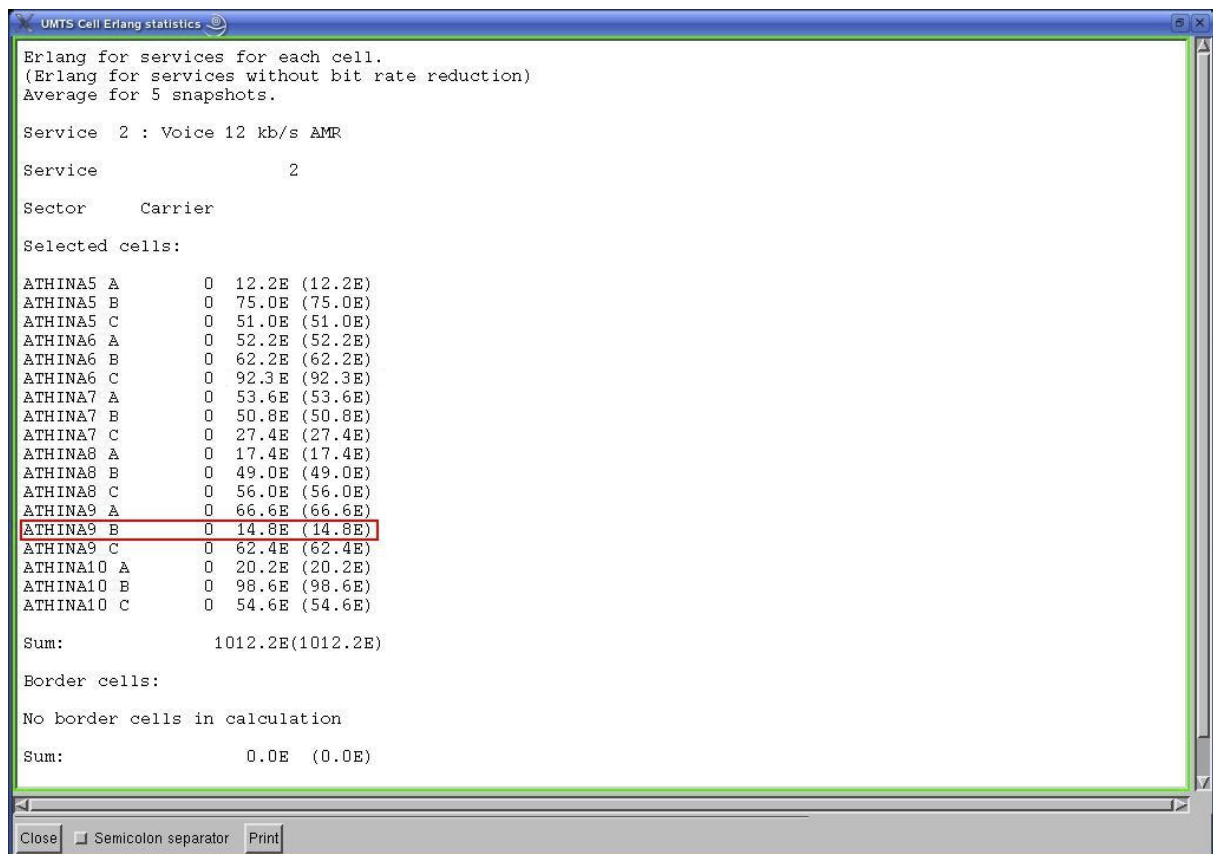
Detailed statistics:

Status:	OK	DPCH power limit (UL)	DPCH power limit (DL)	Cell over-load (UL)	Cell total power limit	Too weak pilot	Lack of chan. elems	Excessive power (UL)
Service Carrier Id:								
Sector								
Selected cells:								
2	0	ATHINA5 A	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
2	0	ATHINA5 B	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
2	0	ATHINA5 C	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
2	0	ATHINA6 A	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
2	0	ATHINA6 B	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
2	0	ATHINA6 C	85.7%	0.0%	0.0%	14.3%	0.0%	0.0%
2	0	ATHINA7 A	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
2	0	ATHINA7 B	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
2	0	ATHINA7 C	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
2	0	ATHINA8 A	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
2	0	ATHINA8 B	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
2	0	ATHINA8 C	98.6%	0.0%	0.0%	0.0%	1.4%	0.0%
2	0	ATHINA9 A	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
2	0	ATHINA9 B	64.9%	0.0%	0.0%	0.0%	35.1%	0.0%
2	0	ATHINA9 C	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
2	0	ATHINA10 A	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
2	0	ATHINA10 B	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
2	0	ATHINA10 C	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Border cells:								
No border cells in calculation								

Σχήμα 20-4: Στατιστικά αποτελέσματα του σεναρίου πριν την εφαρμογή της τεχνικής.

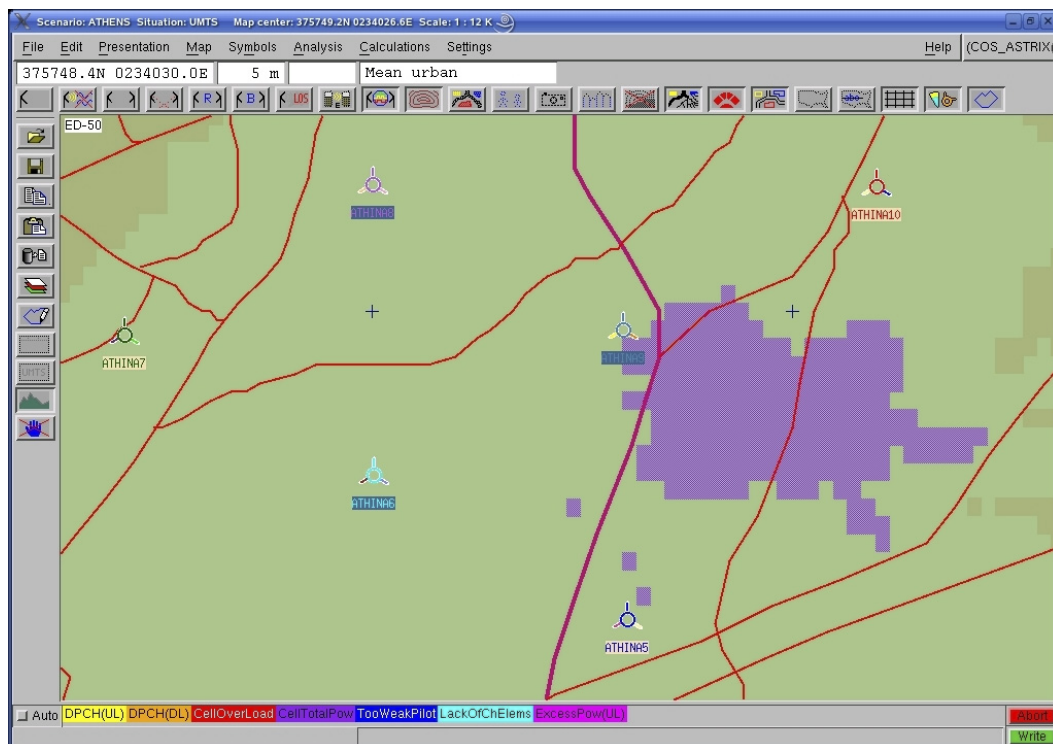
Παρατηρούμε από τα αποτελέσματα ότι στην κυψέλη ATHINA9B έχουμε 64.9% εξυπηρέτηση της προσφερόμενης κίνησης. Δηλαδή 35.1% blocking rate στις εισερχόμενες – εξερχόμενες κλήσεις λόγω Cell Total Power Limit. Αυτό ερμηνεύεται ότι στην κυψέλη μπορεί να έχουμε διαθέσιμους κώδικες – κανάλια για ανάθεση, όμως δεν υπάρχει διαθέσιμη ισχύ από το wideband amplifier στην κατεύθυνση του downlink για να εξυπηρετήσει παραπάνω κλήσεις. Αυτό έχει προκληθεί βέβαια επειδή έχουμε θέσει 50% μεγαλύτερη πυκνότητα κίνησης σε αυτό το σενάριο αλλά και επειδή όπως παρατηρούμε από το Σχήμα 20-2, αυτή η κυψέλη έχει υπερβολικά μεγάλη περιοχή κυριαρχίας σε σχέση με τις άλλες κυψέλες των ίδιων δυνατοτήτων. Αυτό σύμφωνα με τις υποδείξεις που έχουμε αναφέρει στο κεφάλαιο 19, αυτό είναι λάθος στο radio planning του δικτύου. Επίσης παρατηρούμε ότι και οι κυψέλες ATHINA9C και ATHINA6C αντιμετωπίζουν κάποιο σχετικό blocking που εκδηλώνεται σε Cell overload στην uplink κατεύθυνση. Και πάλι εδώ βλέπουμε ότι αυτό οφείλεται στις σχετικά μεγάλες περιοχές κυριαρχίας αυτών των δυο κυψελών. Το blocking όμως είναι μικρό και θα επικεντρωθούμε μόνο στην κυψέλη ATHINA9B.

Επίσης στο Σχήμα 20-5 μπορούμε να δούμε τα Erlang που μεταφέρει κάθε κυψέλη.



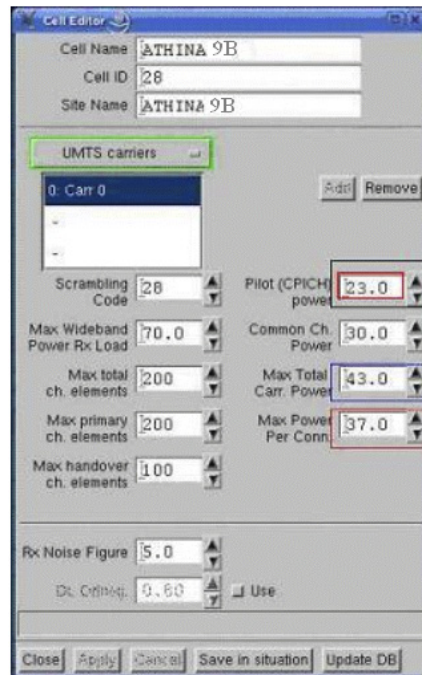
Σχήμα 20-5 : Εξυπηρετούμενα Erlang από κάθε κυψέλη

Στο Σχήμα 20-6 μπορούμε να δούμε σχηματικά στο δίκτυο τα σημεία που εμφανίζεται το πρόβλημα.

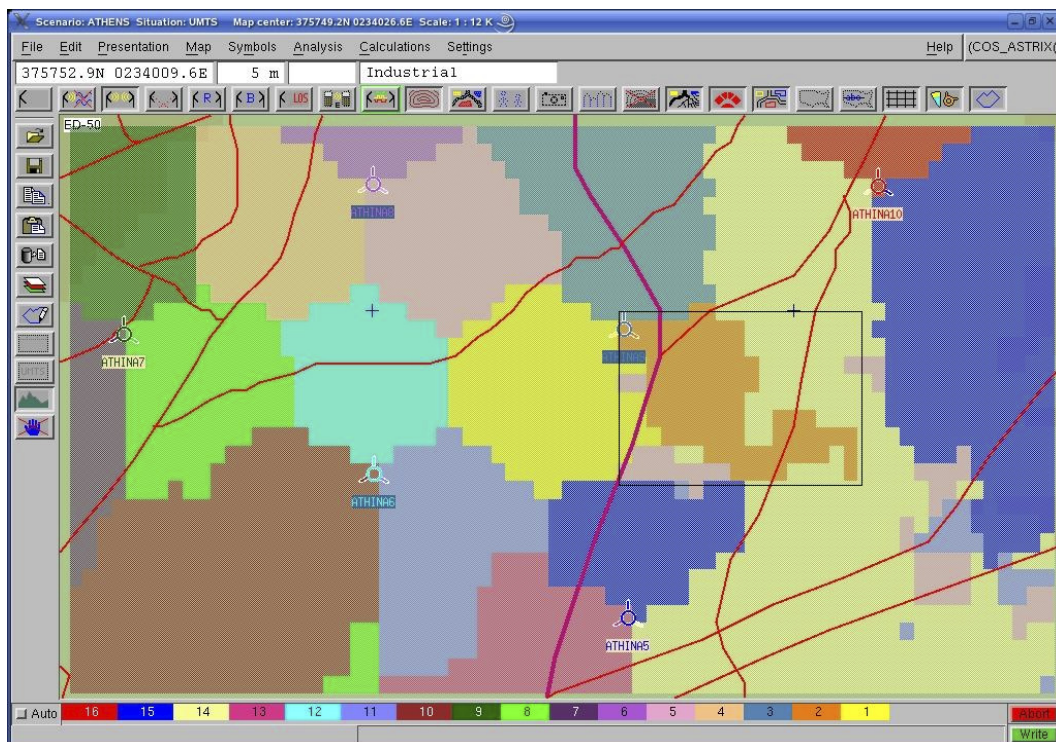


Σχήμα 20-6: Outage reason

Παρατηρούμε την χαμηλή αξιοποίηση των πόρων στην κυψέλη ATHINA9B με μόνο 14.8 Erl
 Επειδή εδώ έχουμε πρόβλημα Cell Total Power Limit, αποφασίζουμε να εφαρμόσουμε το τεχνικό Cell breathing για την ομοιόμορφη κατανομή της κίνησης, μειώνοντας την ισχύ του CPICH στην κυψέλη ATHINA9B κατά 7 dB, Σχήμα 20-7



Σχήμα 20-7: Configuration κυψέλης ATHINA9B



Σχήμα 20-8: Περιοχές κυριαρχίας μετά την εφαρμογή της τεχνικής

Έτσι επιτυγχάνουμε να μειώσουμε την έκταση της περιοχής κυριαρχίας της κυψέλης ATHINA9B αλλά ταυτόχρονα να εξοικονομήσουμε ισχύ στο wideband amplifier για την εξυπηρέτηση περισσότερων κλήσεων. Αν είχαμε blocking λόγω overall cell load, αυτό θα συνέβαινε αν είχαμε π.χ πυκνότητα προσφερόμενης κίνησης $100 \text{ Erl}/\text{Km}^2$, τότε θα αρκούσε να μειώναμε την περιοχή κυριαρχίας μόνο μεταβάλλοντας κατά 7 dB κάποια από τις offset παραμέτρους.

Στο Σχήμα 20-8 μπορούμε να δούμε τις περιοχές κυριαρχίας μετά την μείωση του CPICH της κυψέλης ATHINA9B κατά 7 dB. Πατηρούμε την σημαντική μείωση της έκτασης της περιοχής κυριαρχίας της υπο συμφόρηση κυψέλης.

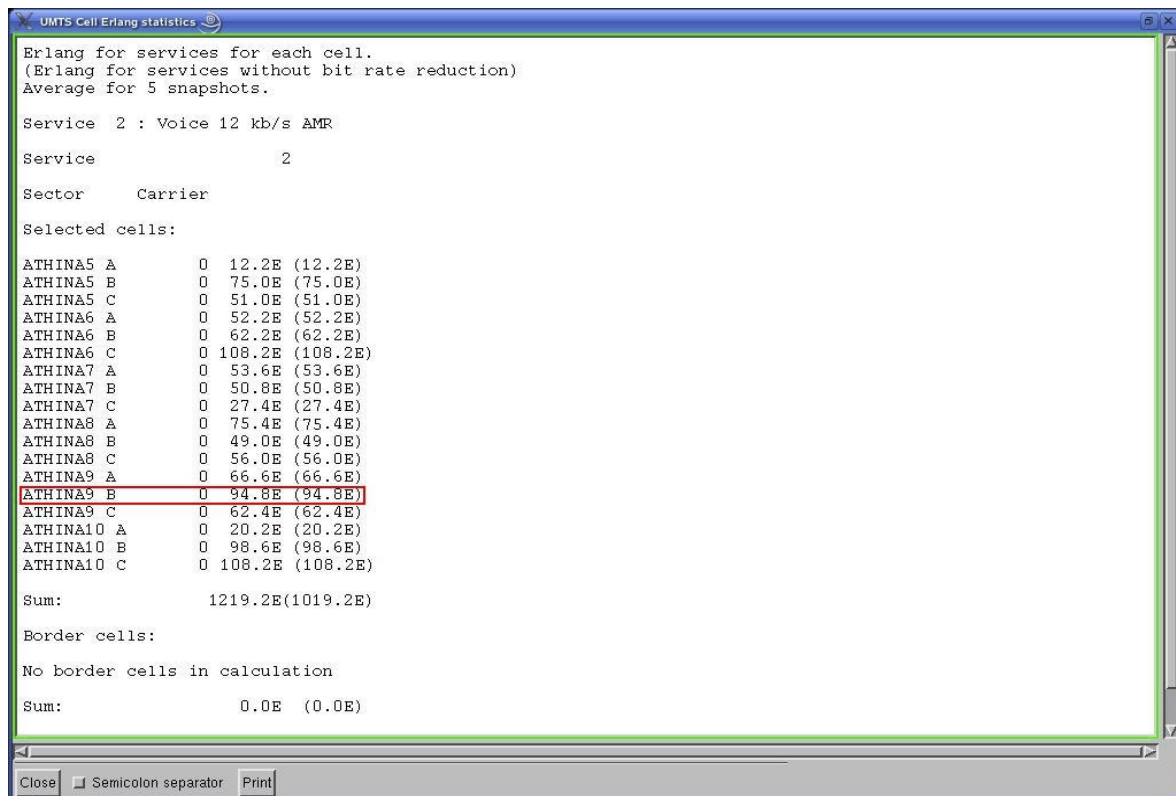
Στα παρακάτω Σχήμα 20-9, 20-10 και 20-11 μπορούμε να δούμε τα αντίστοιχα σχήματα, έτσι ώστε να παρατηρήσουμε την βελτίωση στο blocking και στην εξυπηρετούμενη κίνηση σε Erlang, μετά την εφαρμογή της τεχνικής.

Detailed statistics:

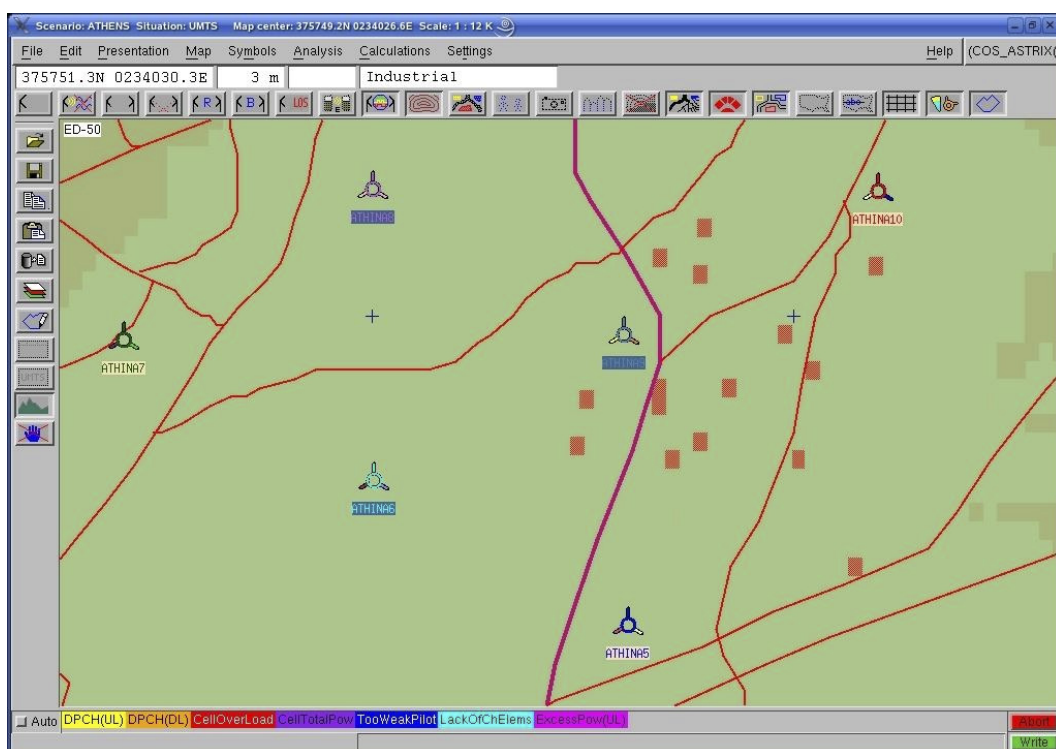
Status:	OK	DPCH power limit (UL)	DPCH power limit (DL)	Cell over-load (UL)	Cell total power limit	Too weak pilot	Lack of chan. elems	Excessive power (UL)
Service Carrier Id:								
Sector								
Selected cells:								
2	0	ATHINA5 A	98.3%	0.0%	0.0%	0.0%	1.7%	0.0%
2	0	ATHINA5 B	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
2	0	ATHINA5 C	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
2	0	ATHINA6 A	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
2	0	ATHINA6 B	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
2	0	ATHINA6 C	98.6%	0.0%	0.0%	1.4%	0.0%	0.0%
2	0	ATHINA7 A	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
2	0	ATHINA7 B	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
2	0	ATHINA7 C	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
2	0	ATHINA8 A	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
2	0	ATHINA8 B	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
2	0	ATHINA8 C	98.6%	0.0%	0.0%	0.0%	1.4%	0.0%
2	0	ATHINA9 A	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
2	0	ATHINA9 B	96.9%	0.0%	0.0%	3.1%	0.0%	0.0%
2	0	ATHINA9 C	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
2	0	ATHINA10 A	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
2	0	ATHINA10 B	98.2%	0.0%	0.0%	1.8%	0.0%	0.0%
2	0	ATHINA10 C	98.3%	0.0%	0.0%	0.0%	1.7%	0.0%
Border cells:								
No border cells in calculation								

Close Semicolon separator Print

Σχήμα 20-9: Στατιστικά αποτελέσματα του σεναρίου μετά την εφαρμογή της τεχνικής



Σχήμα 20-10: Εξυπηρετούμενα Erlang από κάθε κυψέλη, μετά την εφαρμογή της τεχνικής



Σχήμα 20-11: Outage reason μετά την εφαρμογή της τεχνικής

Παρατηρούμε ότι το blocking από 35.1% έπεσε σε 3.1 % και τώρα δεν έχουμε καθόλου cell total power limit. Η κυψέλη ATHINA 9B από 14.8 Erl εξυπηρετούμενης κίνησης τώρα έχει 94.8 Erl. Το όλο δίκτυο από 1012.2 Erl τώρα μεταφέρει 1219.2 Erl. Έτσι συμπεραίνουμε ότι η βελτίωση της εικόνας του δικτύου είναι σημαντικότερη.

21 Τροποποίηση του Admission Control και των Minimum Access Levels

21.1 Εισαγωγή

Υπάρχουν περιπτώσεις όπου στα δίκτυα κινητών επικοινωνιών έχουμε προβλήματα συμφοράς σε μεγάλη γεωγραφική έκταση. Αυτό συμβαίνει στις περιπτώσεις φυσικών καταστροφών, όπως σεισμοί κλπ. Επίσης σε γιορτές, όπως τα πρώτα λεπτά της πρωτοχρονιάς παρατηρείται συμφόρηση σε εθνικό επίπεδο. Όπως είναι κατανοητό σε αυτές τις συνθήκες, οι τεχνικές που έχουν σαν σκοπό να μεταβάλλουν τις περιοχές κυριαρχίας έτσι ώστε να εξισορροπήσουν την κατανομή των χρηστών στο δίκτυο, δεν αναμένεται να αποδώσουν, διότι σε αυτές τις περιπτώσεις έχουμε καθολική αυξημένη ζήτηση τηλεπικοινωνιακών πόρων σε όλο το δίκτυο. Επίσης λόγω της υπερβολικής προσφερόμενης καθολικής γεωγραφικά κίνησης, τα δίκτυα αντιμετωπίζουν σοβαρά προβλήματα, που οδηγούν σε μην βέλτιστη χρήση και αξιοποίηση των πόρων τους. Δηλαδή ενώ ένας σταθμός βάσης έχει διαθέσιμα κανάλια δεν μπορεί να τα αποδώσει στους χρήστες. Στο UMTS αυτό μπορεί να δημιουργηθεί λόγω της αυξημένης κίνησης στο δίκτυο το οποίο οδηγεί στο να έχουμε κατακόρυφη άνοδο των παρεμβολών. Η τεχνική που θα παρουσιάσουμε έχει ως σκοπό να ελαττώσει την προσφερόμενη τηλεπικοινωνιακή κίνηση στο σύστημα σε τέτοιο βαθμό, έτσι ώστε να έχουμε την μέγιστη αξιοποίηση των ράδιο-πόρων του δικτύου. Ο έλεγχος της προσφερόμενης κίνησης σε ένα δίκτυο UMTS μπορεί να γίνει με κατάλληλη δυναμική τροποποίηση παραμέτρων του Admission Control και των Minimum Access Levels.

21.2 Περιγραφή της τεχνικής και παράμετροι

Όπως αναφέραμε και παραπάνω, μπορούμε να ελέγξουμε την προσφερόμενη κίνηση στο δίκτυο UMTS με δυναμική τροποποίηση παραμέτρων του Admission Control και των Minimum Access Levels. Έτσι μπορούμε να ελέγξουμε το μέγεθος της περιοχής που μπορεί να εξυπηρετήσει ένας σταθμός βάσης. Είναι εύκολα κατανοητό ότι για να περιορίσουμε την προσφερόμενη κίνηση σε τέτοιο σημείο ώστε να έχουμε βέλτιστη αξιοποίηση των πόρων του δικτύου, θα πρέπει να μικρύνουμε την περιοχή εμβέλειας ενός σταθμού βάσης έτσι ώστε κάποιοι χρήστες που δεν ικανοποιούν το κριτήριο του Admission Control ή των Minimum Access Levels, να μην έχει την δυνατότητα πρόσβασης στο δίκτυο. Αυτό μπορεί αρχικά να «ακούγεται» άδικο, αλλά τελικά δεν είναι. Είναι σίγουρο ότι είναι πολύ καλύτερο να προσφέρεις σε κάποιους χρήστες καλή ποιότητας υπηρεσίες, παρά να μην έχει κανείς καλής ποιότητας υπηρεσία. Εξάλλου από την στιγμή που εξυπηρετηθούν κάποιοι χρηστές και τελειώσουν την χρήση του δικτύου, τότε και οι υπόλοιποι «εκτοπισμένοι» χρηστές θα έχουν δυνατότητα πρόσβασης στο δίκτυο, ελαφρώς καθυστερημένα. Αντιθέτως πριν την εφαρμογή, όλοι προσπαθούν να κάνουν πρόσβαση στο δίκτυο, με αποτέλεσμα πολλοί λιγότεροι χρήστες να αποκτούν πρόσβαση σε υπηρεσίες και όπως είναι φυσικό το πρόβλημα έχει πολλαπλάσια διάρκεια.

Στα δίκτυα UMTS μπορούμε να έχουμε με τρεις διαφορετικούς τρόπους την δυνατότητα ελέγχου της περιοχής εμβέλειας ενός σταθμού βάσης.

- (i) *Με δυναμική τροποποίηση του Uplink Admission Control parameters*
- (ii) *Με δυναμική τροποποίηση του Uplink Open-Loop Power Control*
- (iii) *Με δυναμική τροποποίηση των παραμέτρων $Q_{rxlevmin}$ ή $Q_{qualmin}$*

21.2.1 Δυναμική τροποποίηση του Uplink Admission Control parameters

Ο μηχανισμός του admission control είναι υπεύθυνος για το αν μια νέα αίτηση πρόσβασης στο δίκτυο θα γίνει δεκτή ή θα απορριφθεί, σε συνάρτηση πάντα με το πόσο θα αυξήσει η νέα αυτή αίτηση τον θόρυβο (τηλεπικοινωνιακό φορτίο) στο δίκτυο και στις ήδη υπάρχουσες κλήσεις σε αυτόν τον σταθμό βάσης.

Στην περίπτωση της uplink κατεύθυνσης, ο έλεγχος γίνεται με μετρήσεις του επιπέδου παρεμβολών που επικρατούν στον δεκτή του σταθμού βάσης. Η συνάρτηση που διέπει αυτόν τον μηχανισμό είναι η κάτωθι.

$$n_{UL} + \Delta n \leq THR_{CAC}$$

όπου n_{UL} είναι η ισχύς στο δέκτη του BS από τους ήδη admitted χρήστες, Δn είναι η αύξηση του wideband interference power που θα προκαλέσει η νέα αίτηση στο δέκτη του BS και THR_{CAC} είναι το admission control threshold .

Δηλαδή, έχουμε αποδοχή μιας αίτησης αν ικανοποιείται η παραπάνω ανισότητα. Δηλαδή, το άθροισμα του επιπέδου των ήδη υπάρχων παρεμβολών και της νέας αίτησης, να μην υπερβαίνουν το THR_{CAC} .

Πληροφοριακά αναφέρουμε ότι το Δn (επιπλέον φορτίο δικτύου), υπολογίζεται από το δίκτυο βάση της παρακάτω συνάρτησης.

$$\Delta n = (1+f) \cdot \sum_{i=1}^k v_i \frac{1}{\frac{W}{\left(\frac{E_b}{N_o}\right) R_b} + 1}$$

όπου v_i είναι activity factor, f το intercell factor, (E_b/N_0) σηματοθορυβικός λόγος της ενέργειας του Bit για την συγκεκριμένη υπηρεσία και BLER, W είναι το chip rate και R_b το transmission της νέας υπηρεσίας.

Έτσι μεταβάλλοντας το THR_{CAC} , μπορούμε να επιτύχουμε το σημείο στο οποίο η προσφερόμενη κίνηση να οδηγεί, στην μέγιστη δυνατή αξιοποίηση των πόρων του σταθμού βάσης. Αναφέρουμε ότι όσο πιο μικρό είναι το THR_{CAC} τόσο πιο μεγάλη η πιθανότητα έχει να απορριφθεί μια αίτηση που έχει μεγάλο path loss και η οποία και θα σπαταλούσε μεγάλη ισχύ από το wide band amplifier, καθώς και θα αύξανε υπέρμετρα το επίπεδο παρεμβολών στην uplink κατεύθυνση.

21.2.2 Δυναμική τροποποίηση του Uplink Open-Loop Power Control

Ο μηχανισμός του open-loop power control υλοποιείται τόσο στο UE όσο και στο Radio Node Controller (RNC) και περιλαμβάνει κάποιες παραμέτρους ελέγχου που γίνονται broadcasted στα SYS Info της κυψέλης, μαζί με άλλες πληροφορίες, όπως scrambling code, location area κλπ.

Το UE υπολογίζει την ληφθείσα ισχύ (RSCP) του CPICH και βάση του RX Level, καθορίζεται η ισχύς που θα κάνει την αρχική πρόσβαση στα κανάλια τυχαίας πρόσβασης PRACH, προτού αρχίσει ο μηχανισμός close inner loop power control.

Η συνάρτηση που καθορίζει την αρχική ισχύ εκπομπής στο PRACH είναι η κάτωθι:

$$\text{PRACH_initial_power} = \text{CPICH_Tx_Power} - \text{CPICH_RSCP} + \text{UL_interference} + \text{UL_required_CI},$$

όπου CPICH_Tx_Power η ισχύς που έχει απονεμηθεί στο CPICH σε dBm η οποία είναι συνήθως το 5-10% της συνολικής ισχύος του wide band amplifier, το CPICH_RSCP που είναι η ισχύς με την οποία το UE λαμβάνει το CPICH, UL_required_CI είναι το απαιτούμενο C/I σε dB για την υπό αίτηση υπηρεσία και UL_interference το επίπεδο παρεμβολών που λαμβάνει στο δέκτη του το Node B.

Από τις παραπάνω παραμέτρους οι CPICH_Tx_Power και UL_interference γίνονται broadcasted από το Node B στα αντίστοιχα SYS_Info.

Έτσι, επεμβαίνοντας και μεταβάλλοντας δυναμικά κάποια από αυτές τις δυο παραμέτρους μπορούμε να επιβάλλουμε σε όλα τα UE που είναι κλειδωμένα σε αυτό το Node B, να έχουν πρόσβαση στο PRACH με χαμηλότερη ισχύ. Έτσι, αν ελαττώσουμε την τιμή της παραμέτρου UL_interference κατά 3 dB, τότε όλα τα UE θα κάνουν πρόσβαση με 3 dB λιγότερη ισχύ στο uplink. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τα κινητά τερματικά που βρίσκονται μακριά από το Node B ή έχουν μεγάλο path loss να μην έχουν πρόσβαση στο δίκτυο.

21.2.3 Με δυναμική τροποποίηση των παραμέτρων $Q_{rxlevmin}$ ή $Q_{qualmin}$

Εκτός από τις άλλες δυο παραπάνω τρόπους, ελέγχου τις προσφερόμενης κίνησης σε ένα σταθμό βάσης UMTS, υπάρχει και η λύση της δυναμική τροποποίηση των παραμέτρων $Q_{rxlevmin}$ ή $Q_{qualmin}$ [26].

Η παράμετρος $Q_{rxlevmin}$ μπορεί να πάρει τιμές από -115 dBm to -25 dBm, και είναι η ελάχιστη ληφθείσα ισχύς στον δέκτη του κινητού τερματικού από το CPICH που πρέπει να ακούει έτσι ώστε να αποτολμήσει πρόσβαση στο δίκτυο και συγκεκριμένα στα το RACH του UTRAN.

Επίσης, υπάρχει και η παράμετρος $Q_{qualmin}$ E_c/I_o που παίρνει τιμές από 0 to -24 dB με ανάλογη επίδραση όπως και η προηγούμενη παράμετρος. Το $Q_{rxlevmin}$ ελέγχει την ένταση του σήματος και το $Q_{qualmin}$ το σηματοθορυβικό λόγο του bit, πάντα και τα δυο αναφέρονται στο κανάλι CPICH. Είναι κατανοητό ότι το καθένα χρησιμοποιείται ανάλογα αν ο διαχειριστής δικτύου χρησιμοποιεί το RSCP ή το E_c/I_o για τον μηχανισμό του cell reselection.

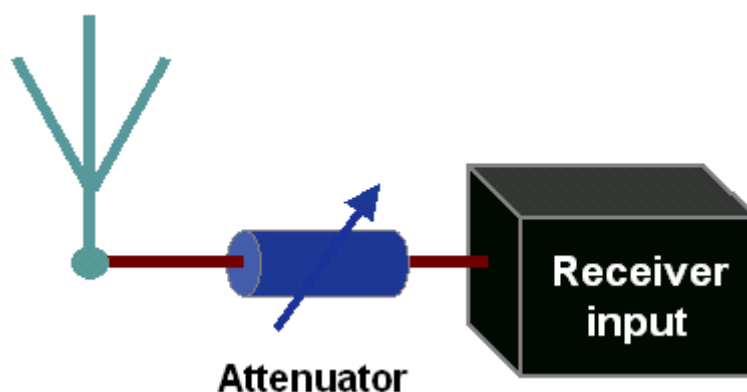
22 Τεχνικό De-Sensitisation για αύξηση της χωρητικότητας

22.1 Εισαγωγή

Όπως έχουμε αναφέρει στο κεφαλαίο 17 «Βελτιστοποίηση της Ραδιοκάλυψης και της Διαστασιοποίησης UMTS δικτύων», για να επιτύχουμε την μέγιστη χωρητικότητα σε ένα δίκτυο UMTS, θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε RF εξοπλισμό με υψηλότερης ποιότητας. Π.χ η κεραία θα πρέπει να έχουν την μέγιστη αποδοτικότητα (efficiency) με πολλή χαμηλά sidelobes, τα ομοαξονικά καλώδια (coaxial cables) θα πρέπει να έχουν όσο το δυνατό χαμηλότερες απώλειες. Επίσης αν χρησιμοποιούνται low noise amplifiers LNAs, αυτά θα πρέπει να είναι τοποθετημένα όσο το δυνατό πιο κοντά στην κεραία και να έχουν χαμηλό Noise Figure (NF). Όλες οι παραπάνω απαιτήσεις έχουν ως σκοπό να δημιουργήσουν ένα front end του δεκτή της κυψέλης του UMTS, με όσο τον δυνατό χαμηλότερο NF. Αυτό οδηγεί σε κατακόρυφη αύξηση της χωρητικότητας του δικτύου σε κανονικές συνθήκες κίνησης. Έχει όμως παρατηρηθεί ότι σε σενάρια με υπέρμετρη προσφερόμενη κίνηση σε ένα δίκτυο UMTS μπορεί να παρουσιαστούν πολλά απρόβλεπτα προβλήματα. Ένα από τα ποια σοβαρά προβλήματα είναι η μη αξιοποίηση των πόρων στο δίκτυο λόγω υπερβολικά αυξημένου τηλεπικοινωνιακού φορτίου στην uplink κατεύθυνση.

22.2 Περιγραφή και εφαρμογή της μεθόδου

Η μέθοδος του τεχνικό De-Sensitisation για αύξηση της χωρητικότητας, αποσκοπεί βασικά σε ότι αποσκοπούσε και η προηγούμενη τεχνική, δηλαδή την μείωση της προσφερόμενης τηλεπικοινωνιακής κίνησης στο δίκτυο, αλλά με μια πολλή διαφορετική μεθοδολογία. Έτσι η τεχνική αυτή έχει ως σκοπό την απευαισθητοποίηση (De-Sensitisation) του δεκτή μιας κυψέλης UMTS. Αυτό γίνεται αυξάνοντας το NF του front end του δέκτη της κυψέλης. Πρακτικά αρκεί να τοποθετηθεί ένας ηλεκτρονικά μεταβαλλόμενος εξασθενητής (attenuator), έτσι ώστε όποτε παρατηρείται υπερβολικά αυξημένη κίνηση στην uplink κατεύθυνση να ορίζεται κάποια επιπλέον εξασθένιση και η οποία αυξάνει αντιστοίχως το NF. Στο Σχήμα 22-1 μπορούμε να δούμε την τοποθέτηση του RF attenuator μεταξύ κεραίας και δέκτη του Node B.



Σχήμα 22-1: RF attenuator για την αύξηση του NF

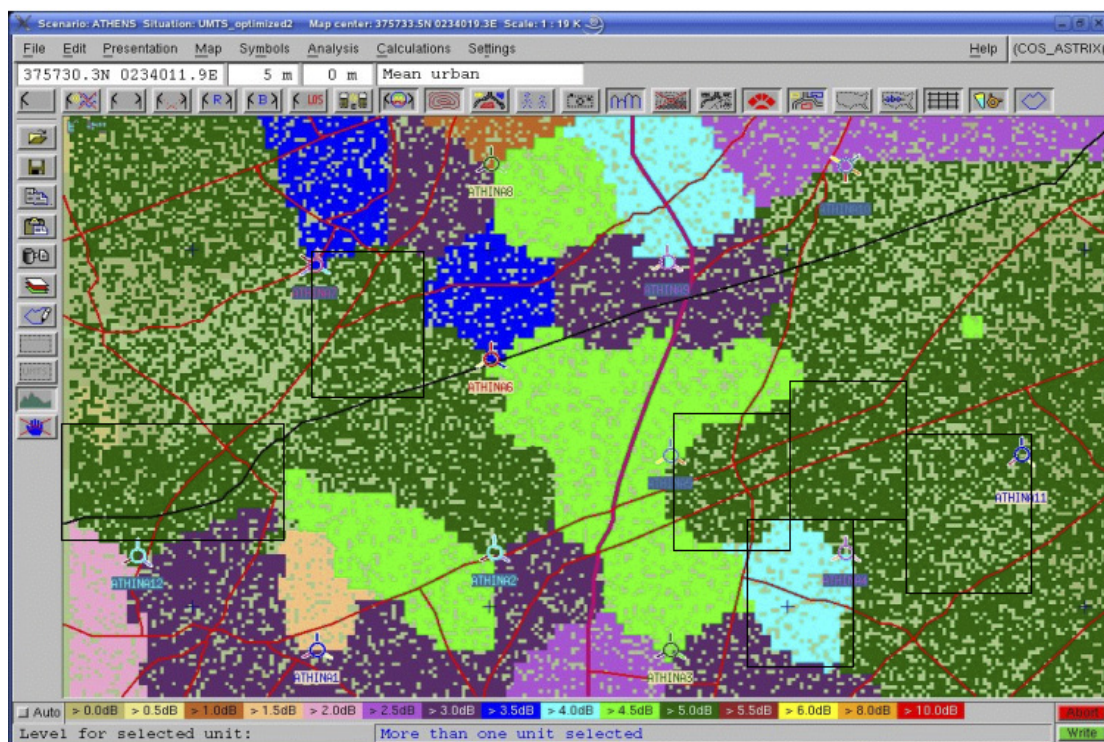
Έτσι ανακεφαλαιώνοντας έχουμε :

- Απεναισθητοποιούμε τον δεκτή ενός Node B με αύξηση του συνολικού NF , έτσι ώστε να ελαχιστοποιήσουμε το Blocking, εξαιτίας του αυξημένου uplink load.
- Αυτή η τεχνική πρέπει να εφαρμοστεί μόνο στα cell που έχουν αυξημένο uplink load, το οποίο εκδηλώνεται σαν Uplink Noise Rise.
- Θα πρέπει να προσέχουμε να μην απεναισθητοποιούμε τους δέκτες ταυτόχρονα σε γειτονικές κυψέλες
- Επίσης δεν θα πρέπει να εφαρμόζεται η τεχνική σε κυψέλες που έχουν καθαρά τον ρόλο macro cell και έχουν σαν κύριο σκοπό την ραδιοκάλυψη μεγάλων αποστάσεων

22.3 Αποτελέσματα από την εφαρμογή της μεθόδου.

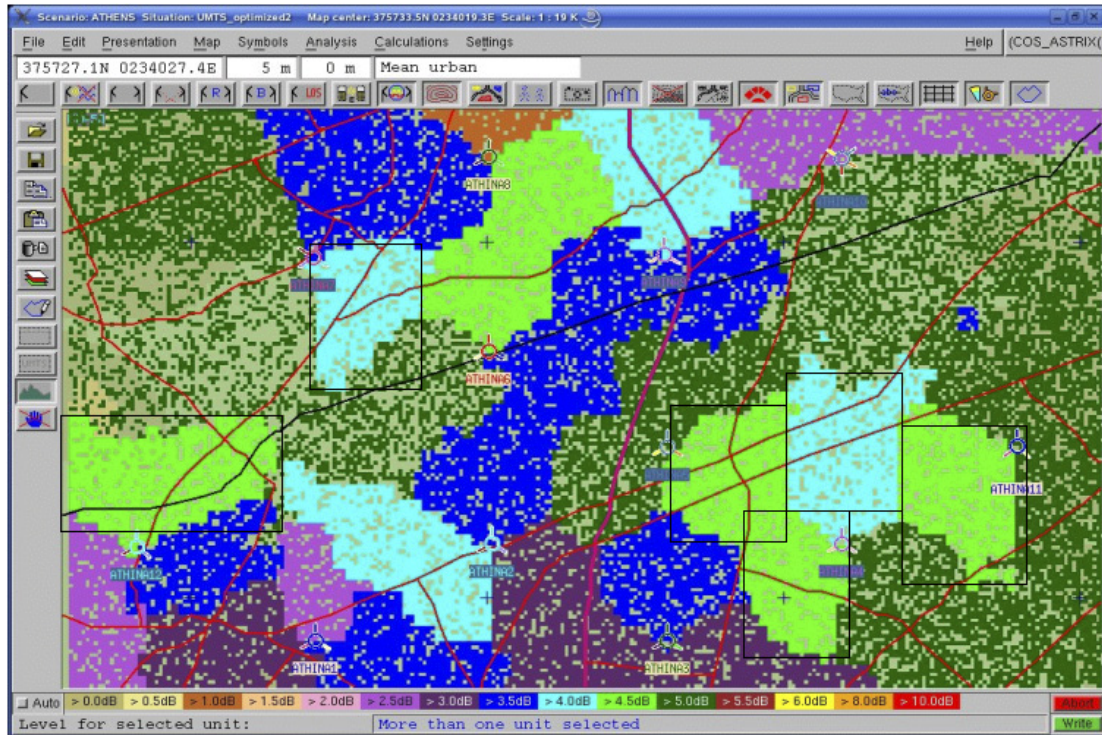
Όπως προαναφέραμε το πρόβλημα αυξημένης κίνησης στην uplink κατεύθυνση εκδηλώνεται με αύξηση του Uplink Noise Rise. Στο παρακάτω Σχήμα 22-2 με την βοήθεια του ASTRIX και εφαρμόζοντας μοντέλο κίνησης Monte Carlo με πολύ υψηλή πυκνότητα κίνησης, βλέπουμε το Uplink noise rise σε ένα δίκτυο UMTS.

Έχουν επισημάνει της περιοχές κάλυψης όπου έχουν αυξημένο Uplink Noise Rise και επιδέχονται βελτίωσης με την εν λόγω τεχνική.



Σχήμα 22-2: Uplink Noise Rise

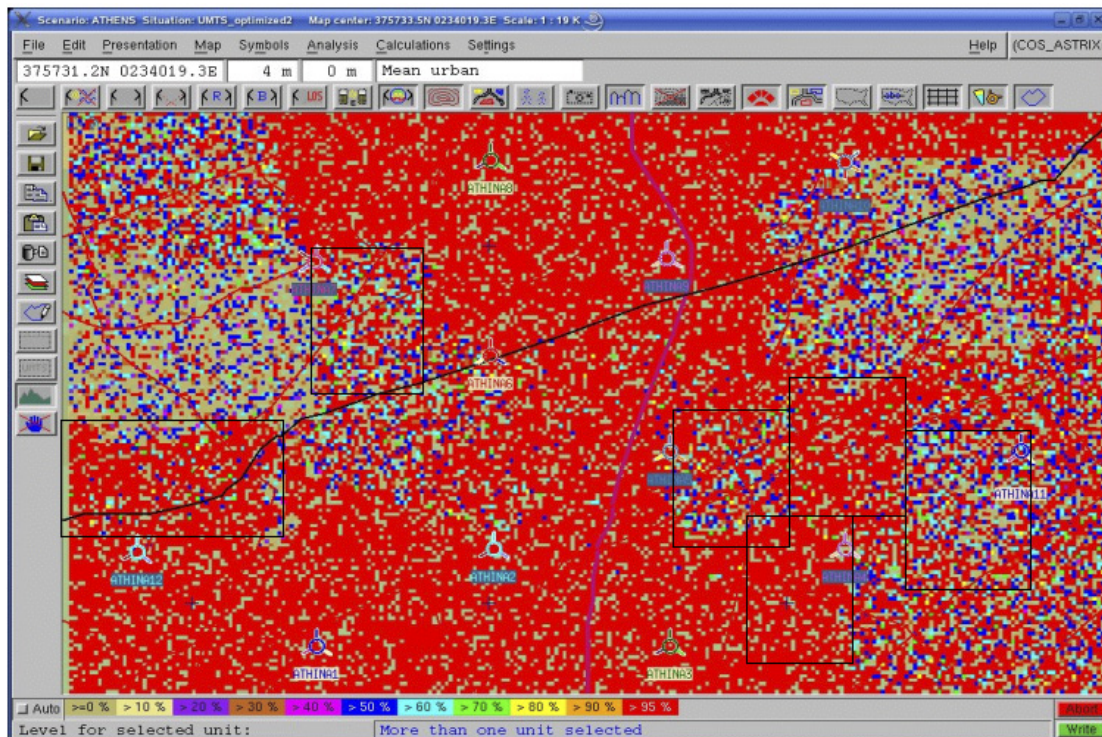
Τώρα, εφαρμόζοντας ένα attenuation της τάξεως των 4 dB που αντιστοιχεί σε 4 dB αύξηση του NF στα cell που είναι κυρίαρχα στις εν λόγω προβληματικές περιοχές έχουμε την εικόνα του δικτύου στο Σχήμα 22-3.



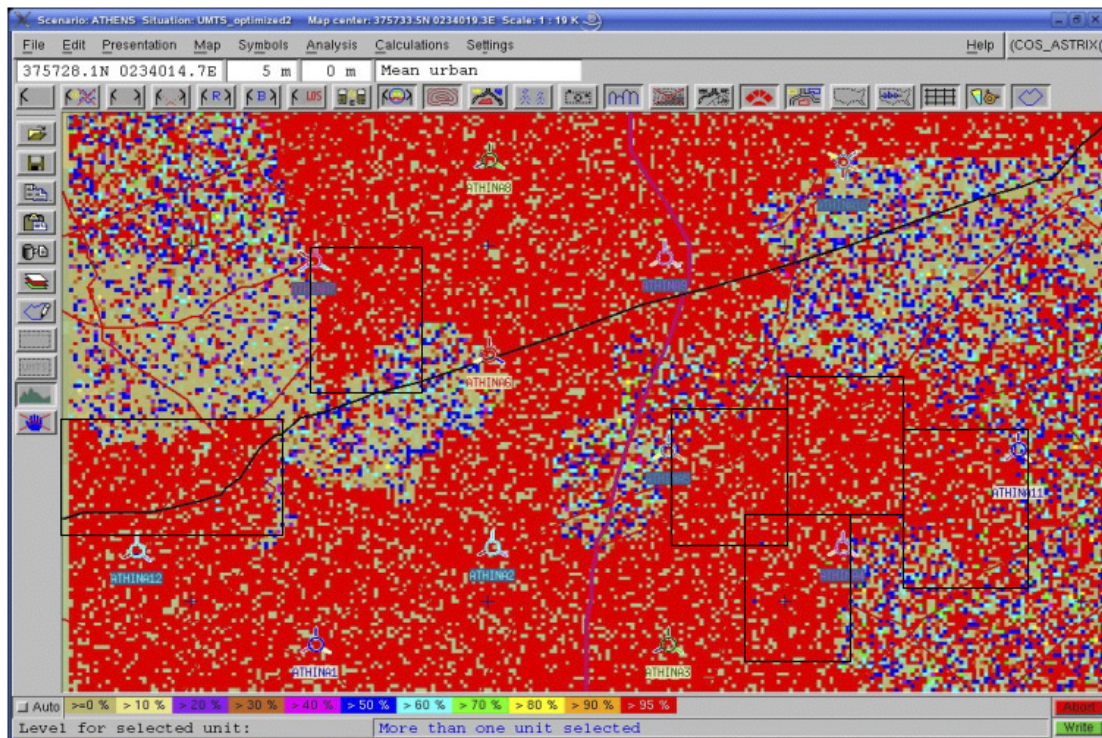
Σχήμα 22-3: Uplink Noise Rise με 4 dB αυξημένο NF σε επιλεγμένα cell

Παρατηρούμε ότι έχουμε βελτίωση του Uplink Noise Rise από 1 έως 2 dB.

Τώρα, για να δούμε το πραγματικό κέρδος από την εφαρμογή αυτής της τεχνικής κάνουμε εξομοίωση με το ASTRIX για την δημιουργία ενός χάρτη της πιθανότητα ραδιοκάλυψης (coverage probability).



Σχήμα 22-4: Coverage probability χωρίς την τεχνική



Σχήμα 22-5: Coverage probability με την τεχνική

Παρατηρούμε ότι σε ορισμένα σημεία έχουμε αύξηση από 20% έως και 50%. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα κατακόρυφα αντίστοιχη άνοδο της εξυπηρετούμενης κίνησης από το δίκτυο.

23 Τροποποίηση της λίστας γειτονικών σταθμών βάσης σε ένα Node B

23.1 Εισαγωγή

Όπως στο GSM και έτσι και στο UMTS κάθε Node B έχει την δική του λίστα με τα γειτονικά του Node B, που εκπέμπεται στο Broadcast Channel (BCH). Συγκεκριμένα όπως στο GSM κάθε κυψέλη εκπέμπει το ARFCN - Absolute Radio Frequency Channel Number του BCCH, κάθε γειτονικού σταθμού, έτσι και στο UMTS κάθε Node B εκπέμπει το scrambling codes των γειτόνων του. Έτσι κάθε UE που έχει σαν serving αυτό το Node B μπορεί να κάνει reselection σε αυτά τα γειτονικά, καθώς και να χρησιμοποιούν αυτά στην διαδικασία του soft handover σαν μέλη του active set.

Η λίστα των γειτόνων κάθε Node B είναι αποθηκευμένη στο αρμόδιο RNC του. Το UMTS υποστηρίζει και την εκπομπή όχι μόνο των UMTS Node B στο BCH, άλλα και πληροφορίες για σταθμούς βάσης άλλων RATs. Έτσι μπορεί να εμπεριέχει και πληροφορίες για σταθμούς βάσης GSM, ανακοινώνοντας το ARFCN

Έτσι έχουμε την εκπομπή των μηνυμάτων συστήματος SYS_Info 11 CELL_INFO_LIST στο BCH [31]:

- Intra-UTRAN neighbor list: Κάθε Node B μπορεί να στείλει στα UEs μέχρι 32 scrambling codes γειτόνων του.
- Inter-UTRAN neighbor list: Ένα Node B μπορεί να στείλει και UARFCN, έτσι ώστε να είναι δυνατή η χρήση από το UE και Node B που εκπέμπουν σε διαφορετικό RF carrier. Έτσι μπορούμε να έχουν cell reselection μεταξύ κυψελών διαφορετικής δικτυακής ιεραρχίας και διαστρωμάτωσης αλλά και hard handover.

Το Uplink UARFCN υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

Uplink UARFCN (N_u) = 5 x Frequency (MHz) and

Downlink UARFCN (N_d) = 5 x Frequency (MHz).

- Inter-RAT neighbor list: Κάθε UE μπορεί να κάνει επίσης monitor έως 32 ARFCN σταθμών βάσης GSM, έτσι ώστε να γίνεται διαφανής χρήση και συνεργασία μεταξύ ενός UTRAN και GSM δικτύου. Αυτό είναι πολύ σημαντικό διότι εξασφαλίζεται η πλήρης συνεργασία των δυο RATs χωρίς να καταλαβαίνει ο χρήστης την αλλαγή της ασύρματης τεχνολογίας, εκτός και αν χρησιμοποιεί υπηρεσίες μεταφοράς δεδομένων όπου η ταχύτητες του GPRS είναι σημαντικά χαμηλότερες.

23.2 Περιγραφή της μεθόδου

Σκοπός αυτής της τεχνικής είναι να αφαιρεί από τις λίστες γειτόνων, τα cells (οποιασδήποτε RATs) που έχουν υπερβολικό τηλεπικοινωνιακό φορτίο. Έτσι αυτά τα cells θα απομονώνονται στο δίκτυο και δεν θα δέχονται επιπλέον τηλεπικοινωνιακή κίνηση. Μετά από την σταθεροποίηση της κίνησης σε αυτά τα cells, μπορούν να επανενταχθούν στο δίκτυο.

Αφαιρώντας ένα σταθμό βάσης που έχει υποστεί τηλεπικοινωνιακή συμφόρηση, επιτυγχάνουμε να ελαχιστοποιούμε την πιθανότητα ανεπιτυχών διαπομπών (handover). Επίσης τα UE δεν κάνουν reselection σε cells που δεν έχουν πόρους για να τα εξυπηρετήσουν.

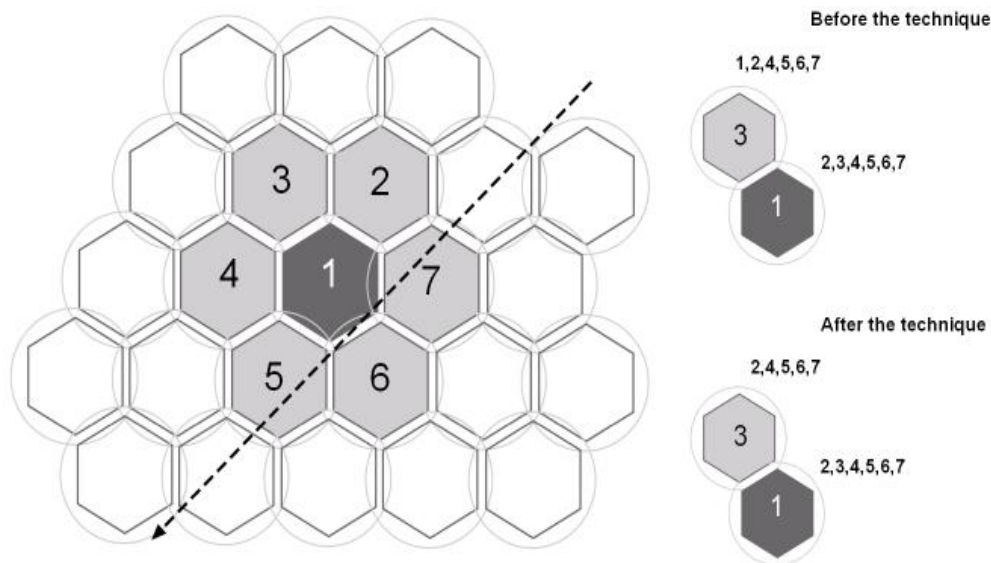
Η απομόνωση των προβληματικών cell γίνεται από το RNC, και επιτυγχάνεται αφαιρώντας είτε το scrambling code του, είτε το UARFCN, είτε το ARFCN, εάν πρόκειται για GSM κυψέλη.

23.3 Αποτελέσματα

Στο Σχήμα 23-1 μπορούμε να δούμε σχηματικά τα αποτελέσματα της εφαρμογής αυτής της τεχνικής. Όπως βλέπουμε έχουμε ένα απλό UMTS δίκτυο με σταθμούς βάσης που χρησιμοποιούν πανκατευθυντικές (omni) κεραίες. Το σχήμα αναχρησιμοποίησης συχνότητας είναι 7. Το cell με scrambling code 1 (έντονα σκιασμένο) είναι ένα cell που έχει υπερβολικό τηλεπικοινωνιακό φορτίο. Έτσι τα UEs που θα κλείδωναν σε αυτό το Node B δεν θα είχαν την δυνατότητα χρησιμοποίησης κάποιας υπηρεσίας από το δίκτυο.

Έτσι προκειμένου να απομονώσουμε αυτό το προβληματικό Node B αφαιρούμε το scrambling code 1 από τα άλλα έξι γειτονικά Node Bs. Έτσι στο Σχήμα 23-1 βλέπουμε ότι ένα το Node B με scrambling code εκπέμπει τα codes 1,2,4,5,6,7, τώρα εκπέμπει τα 2,4,5,6,7.

Έτσι ένα UE που θα διέσχιζε το δίκτυο με πορεία (διακεκομμένη γραμμή) όπως φαίνεται στο Σχήμα 23-1, θα είχε είτε σαν υποψήφιο για handover, είτε σαν cell για reselection, το υπό συμφόρηση Node B με scrambling code 1. Με την εφαρμογή όμως της τεχνικής και με την αφαίρεση του scrambling code από τους έξι γείτονες του, το UE δεν βλέπει καθόλου και δεν χρησιμοποιεί το Node B με scrambling code 1.



Σχήμα 23-1: Τροποποίηση της λίστας γειτόνων BCCH

Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το UE να χρησιμοποιεί μόνο τα γειτονικά Node Bs, που έχουν επαρκής τηλεπικοινωνιακούς πόρους.

Σημείωση:

Θα πρέπει να τονιστεί ότι αυτή η τεχνική θα πρέπει να χρησιμοποιείται μόνο σε περιοχές του δικτύου, όπου υπάρχει μεγάλη πυκνότητα σταθμών βάσης, με αποτέλεσμα να έχουν επαρκή αλληλοεπικάλυψη, αλλιώςτικά μπορούν να δημιουργηθούν κενά στο δίκτυο. Είναι όμως φυσικό τα προβλήματα συμφόρησης να παρουσιάζονται σε πυκνοκατοικημένες περιοχές, όπου και υπάρχουν πυκνά δίκτυα.

24 Ασύρματα Τοπικά Δίκτυα (WLAN)

24.1 Εισαγωγή

Τα Ασύρματα Τοπικά Δίκτυα (Wireless Local Area Networks – WLANs) αποτελούν επεκτάσεις ή ανταγωνιστική τεχνολογία των σταθερών τοπικών δικτύων σε κτίρια ή περιοχές μικρού εύρους. Πολλαπλά φέροντα πολυπλέκονται με βάση κυρίως την τεχνική απλωμένου φάσματος (spread-spectrum), η οποία καταναλώνει μεγαλύτερο εύρος ζώνης σε σχέση με ανταγωνιστικές τεχνολογίες, εντούτοις προσφέρει υψηλές ταχύτητες και ανοσία του συστήματος προς παρεμβολές. Τα συγκριτικά πλεονεκτήματα των Wireless LAN είναι:

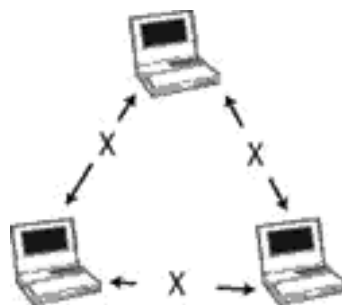
- η ευκολία και ταχύτητα εγκατάστασης και λειτουργίας,
- το χαμηλό λειτουργικό κόστος και κόστος εξάπλωσης,
- οι υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης και λήψης δεδομένων,
- οι μεγάλες δυνατότητες κλιμάκωσης.

Υπάρχουν τρεις βασικές κατηγορίες προτύπων για Ασύρματα Τοπικά Δίκτυα: το [ETSI](#) (European Telecommunications Standards Institute) High Performance European Radio LAN ([HIPERLAN](#)), το [IEEE](#) (Institute of Electronic and Electrical Engineers) [802.11](#) WLAN και το [Bluetooth](#). Και τα τρία πρότυπα καλύπτουν το φυσικό επίπεδο και το επίπεδο πρόσβασης στο μέσο (Medium Access Control - MAC) του μοντέλου αναφοράς κατά OSI (Open Systems Interconnection).

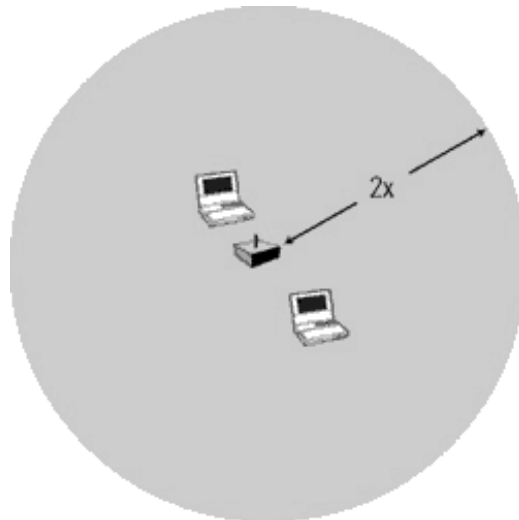
24.2 Τοπολογίες

Μια τυπική τοπολογία WLAN μπορεί να περιλαμβάνει – πλην των τερματικών σταθμών - ένα ή περισσότερα σημεία πρόσβασης (Access Points – APs), τα οποία μπορεί να διασυνδέονται για να παρέχουν μεγαλύτερη κάλυψη. Διακρίνονται οι ακόλουθες βασικές τοπολογίες:

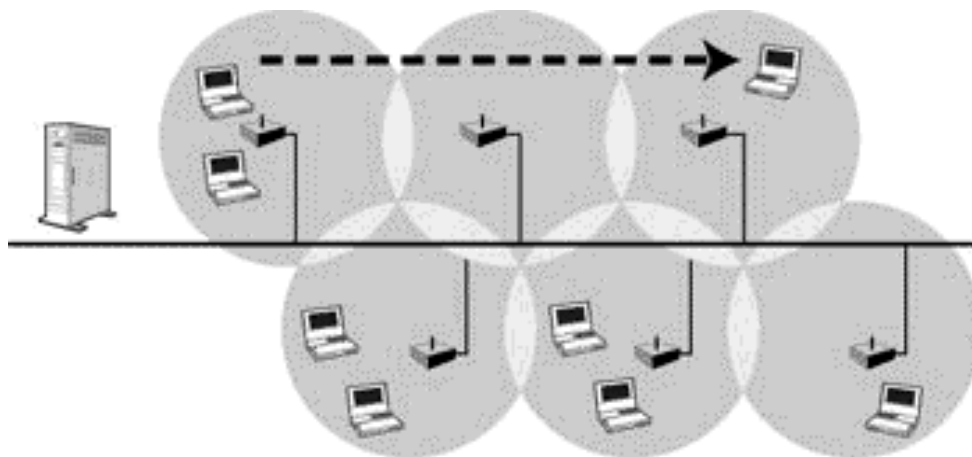
- η ομότιμη τοπολογία, στην οποία οι χρήστες συνδέονται απευθείας μεταξύ τους, χωρίς τη διαμεσολάβηση AP (Σχήμα 24-1),
- η ομότιμη τοπολογία με μεσολάβηση AP ως επαναλήπτη (Σχήμα 24-2), το οποίο αυξάνει την επιτρεπόμενη απόσταση των τερματικών,
- WLAN με σταθερή υποδομή (Σχήμα 24-3), όπου πολλαπλά APs συνδέονται με το σταθερό δίκτυο, αυξάνοντας την κάλυψη και την χωρητικότητα του δικτύου πρόσβασης,
- κυψελωτό WLAN (Σχήμα 24-4), όπου οι κυψέλες κάλυψης των APs επικαλύπτονται, παρέχοντας δυνατότητες συνεχούς επικοινωνίας.



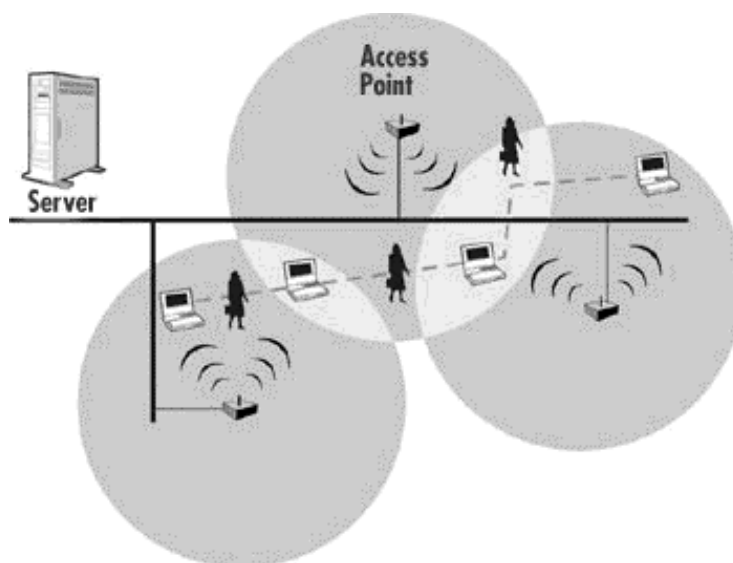
Σχήμα 24-1: Ομότιμη τοπολογία (peer to peer)



Σχήμα 24-2: Ομότιμη τοπολογία με χρήση AP ως επαναλήπτη



Σχήμα 24-3: WLAN με σταθερή υποδομή (infrastructure)



Σχήμα 24-4: Κυψελωτό WLAN

24.3 Κατηγορίες WLAN – HIPERLAN

Έχουν προτυποποιηθεί οι ακόλουθες δύο κατηγορίες HIPERLAN:

A) HIPERLAN τύπος 1 (HIPERLAN/1):

Πρόκειται για ένα πρότυπο τοπικού ασύρματου δικτύου το οποίο προορίζεται για τη δημιουργία υψηλών επιδόσεων ασύρματου δικτύου χωρίς την ύπαρξη ενσύρματης υποδομής. Πολλαπλά HIPERLAN μπορούν να συνυπάρξουν στην ίδια γεωγραφική περιοχή, χωρίς να επηρεάζονται μεταξύ τους. Το HIPERLAN/1 μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την επέκταση των ενσύρματων τοπικών δικτύων.

Το HIPERLAN/1 μπορεί να προσφέρει διασύνδεση που βασίζεται σε κατευθυνόμενη επικοινωνία του τύπου one-to-one ή σε μεταδόσεις του τύπου one-to-many. Ο ρυθμός μετάδοσης φτάνει τα 19 Mbit/s, ενώ η μπάντα λειτουργίας βρίσκεται στα 5GHz.

B) HIPERLAN τύπος 2 (HIPERLAN/2):

Η ραδιοεπαφή αυτή προορίζεται για να παρέχει ασύρματη πρόσβαση μικρής εμβέλειας (30m σε εσωτερικούς χώρους, έως και 150m σε εξωτερικούς) σε χρήστες ακίνητων ή κινούμενων τερματικών από τοπικό επίπεδο σε δίκτυα υποδομής IP, ATM και UMTS. Η επικοινωνία αυτή επιτυγχάνεται μέσω των σημείων πρόσβασης (Access Points) τα οποία είναι συνδεδεμένα απευθείας στο δίκτυο κορμού ενός δικτύου IP, ATM ή UMTS. Τα δίκτυα HIPERLAN/2 έχουν δυνατότητες υποστήριξης διαπομπών συνδέσεων μεταξύ των access points και των σταθμών βάσης των άλλων δικτύων 3^{ης} γενιάς. Επιπλέον, από την πλευρά του χρήστη, ένα τέτοιο δίκτυο, διαθέτοντας τους απαιτούμενους ρυθμούς μετάδοσης, θα πρέπει να παρέχει την ποιότητα υπηρεσίας (QoS) αντίστοιχης των δικτύων IP και ATM. Έτσι, στο HIPERLAN/2 υποστηρίζονται ρυθμοί μέχρι και 25 Mbit/s, ενώ η μπάντα συχνοτήτων είναι η ίδια με αυτή του τύπου 1 (5GHz).

24.3.1 Bluetooth

Το Bluetooth είναι το πρωτόκολλο για τη ραδιο-επικοινωνία μεταξύ συσκευών σε μικρές αποστάσεις, της τάξης των 10m. Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα του προτύπου είναι η σταθερότητα, η μικρή πολυπλοκότητα, το χαμηλό κόστος και η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας.

Το Bluetooth λειτουργεί στην ελεύθερη μπάντα των 2.4GHz, χρησιμοποιώντας την τεχνική μεταπήδησης συχνότητας (frequency-hopping) για να καταστήσει τη ραδιο-επαφή αξιόπιστη. Η στοίβα πρωτοκόλλων περιλαμβάνει το επίπεδο ραδιο-επαφής, το οποίο αποτελεί τη διεπαφή φυσικής σύνδεσης, το επίπεδο βασικής ζώνης (baseband) και το πρωτόκολλο διαχείρισης ζεύξης (Link Management Protocol - LMP), για την εγκαθίδρυση και τον έλεγχο των ζεύξεων ανάμεσα σε συσκευές Bluetooth, τα οποία υλοποιούνται σε hardware/firmware. Το επίπεδο ελεγκτή κόμβου (Host Controller Layer – HCL) προσαρμόζει το Bluetooth hardware στις απαιτήσεις του επιπέδου L2CAP (Logical Link Layer Control and Adaptation Protocol), το οποίο είναι υπεύθυνο για πολυπλεξία, τμηματοποίηση και επανασύνδεση (segmentation & reassembly) και παροχή κατάλληλης ποιότητας υπηρεσίας. Τέλος, οι εφαρμογές μπορούν να τρέχουν κατευθείαν πάνω από το L2CAP ή μέσω πρωτοκόλλων υποστήριξης.

24.3.2 IEEE 802.11

Τα πρότυπα της οικογένειας IEEE 802.11 προδιαγράφουν τα χαρακτηριστικά του στρώματος ελέγχου πρόσβασης στο μέσο και του φυσικού στρώματος των ασύρματων δικτύων. Το πρότυπο 802.11b αποδείχθηκε ιδιαίτερα επιτυχές και σήμερα υπάρχουν αρκετά προϊόντα στην αγορά τα οποία στηρίζονται σε αυτό. Επιπλέον, προϊόντα τα οποία βασίζονται στο πρότυπο 802.11a βρίσκονται στο στάδιο της κατασκευής, αν και η χρήση διαφορετικών συχνοτήτων καθιστά τις δύο τεχνολογίες ασύμβατες.

Ένα WLAN 802.11 βασίζεται σε κυψελωτή δομή. Οι κυψέλες, οι οποίες ονομάζονται BSS (Basic Service Set), ορίζουν την περιοχή κάλυψης ενός σημείου πρόσβασης (Access Point - AP). Τα APs μπορεί να διασυνδέονται μεταξύ τους μέσω ενός συστήματος διανομής (Distribution System - DS), το δε διασυνδεδεμένο WLAN – το οποίο περιλαμβάνει τα BSS, τα APs και το DS, καλείται Extended Service Set (ESS). Το πρότυπο ορίζει επίσης μια γέφυρα διασύνδεσης (portal) του 802.11 με άλλα 802 WLAN.

Λόγω του γεγονότος ότι από όλα τα παραπάνω ασύρματα δίκτυα, μόνο το 802.11 έχει διαδοθεί παγκοσμίως, όλες οι τεχνικές που προτείνουμε θα εφαρμόζονται και θα αξιολογούνται πάνω σε αυτήν την τεχνολογική πλατφόρμα.

24.4 Εισαγωγή στο IEEE 802.11

24.4.1 Ιστορία

Το πρώτο IEEE 802.11 στάνταρτ εκδόθηκε τον Ιούνιο το 1997 και καθόριζε μια πλήρη ομάδα προδιαγραφών για το στρώμα μέσου MAC και το φυσικό επίπεδο μετάδοσης, για συνδέσεις σε τοπικό επίπεδο.

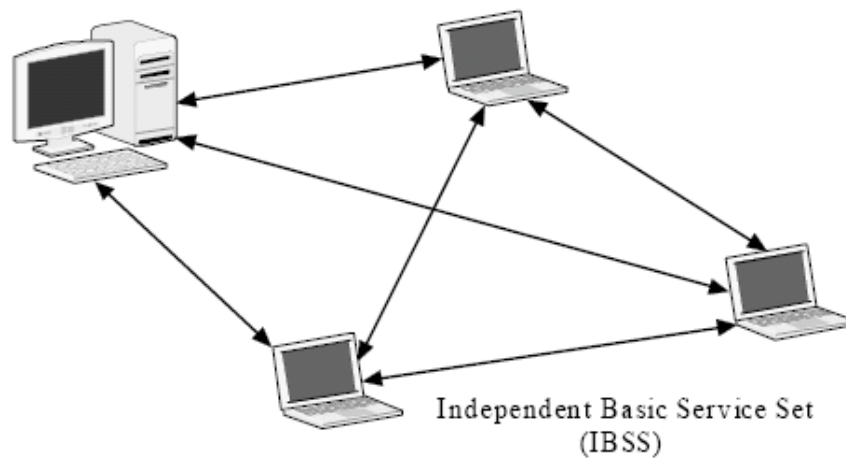
Αρχικά, το πρωτόκολλο υποστήριζε δυο μόνο ταχύτητες μετάδοσης στο MAC επίπεδο. Οι ταχύτητες ήταν 1 Mbps και 2 Mbps, χρησιμοποιώντας PSK και QPSK διαμορφώσεις αντίστοιχα. Επίσης εφαρμόστηκε η τεχνική απευθείας απλωμένου φάσματος direct sequence spread spectrum DSSS. Αργότερα με την εισαγωγή της νέας διαμόρφωσης CCK επεκτάθηκαν οι διαθέσιμες ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων στα 5.5 και 11 Mbps. Οι πραγματικές ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων δεν ξεπερνούν τα 5 Mbps. Έτσι ολοκληρώθηκε το στάνταρτ 802.11b. Αργότερα ακολουθεί η συμβατή προς το .11b έκδοση του .11g. Βεβαίως είχαν προηγηθεί ενδιάμεσα κάποιες proprietary εκδόσεις του .11b με ταχύτητες έως 22 Mbps, αλλά δεν υπήρχε επαρκής συμβατότητα μεταξύ των κατασκευαστών. Το .11g αποτελεί την πιο δημοφιλή επέκταση το .11b και είναι απολύτως συμβατό με αυτό. Μπορεί να υποστηρίξει ταχύτητες έως και 54 Mbps στο φυσικό επίπεδο. Και εδώ η πραγματική ταχύτητα μετάδοσης είναι σημαντικά μικρότερη και γύρω στα 20 Mbps. Το .11g χρησιμοποιεί την τεχνική OFDMA, χρησιμοποιώντας πολλαπλά sub-carriers ορθογώνια διαμορφωμένα μεταξύ τους για να μεταφέρει την πληροφορία.

24.4.2 Αρχιτεκτονική

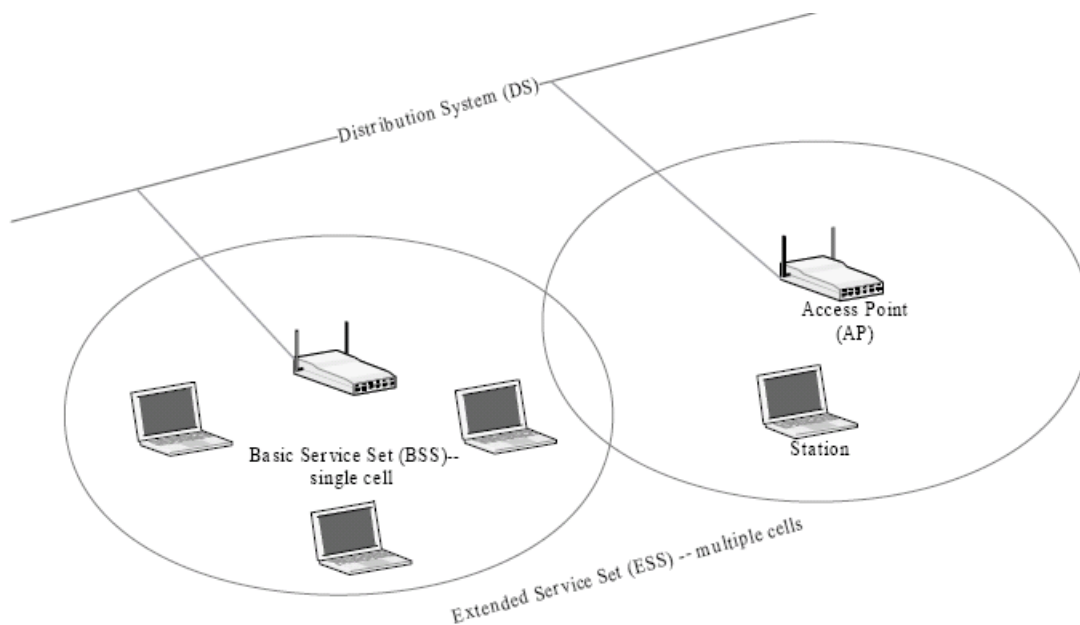
Η οικογένεια των πρωτοκόλλων 802.11 καθορίζει δυο δικτυακές αρχιτεκτονικές:

- (i) Την κεντρική αρχιτεκτονική υποδομής infrastructure, όπου έχουμε ένα ασύρματο σημείο πρόσβασης Access Point το οποίο είναι ο κεντρικός κόμβος στο δίκτυο και όλοι οι κόμβοι επικοινωνούν μέσω αυτού
- (ii) Την ομότιμη peer-to-peer στην οποία πολύ κόμβοι αποτελούν ένα δίκτυο με ένα κοινό διακριτικό (IBSS) και ο καθένας επικοινωνεί ομότιμα με όποιον μπορεί έχει ασύρματη πρόσβαση.

Στα παρακάτω Σχήματα 24-5 και 24-6 μπορούμε να δούμε τις δυο αρχικά προτεινόμενες αρχιτεκτονικές:

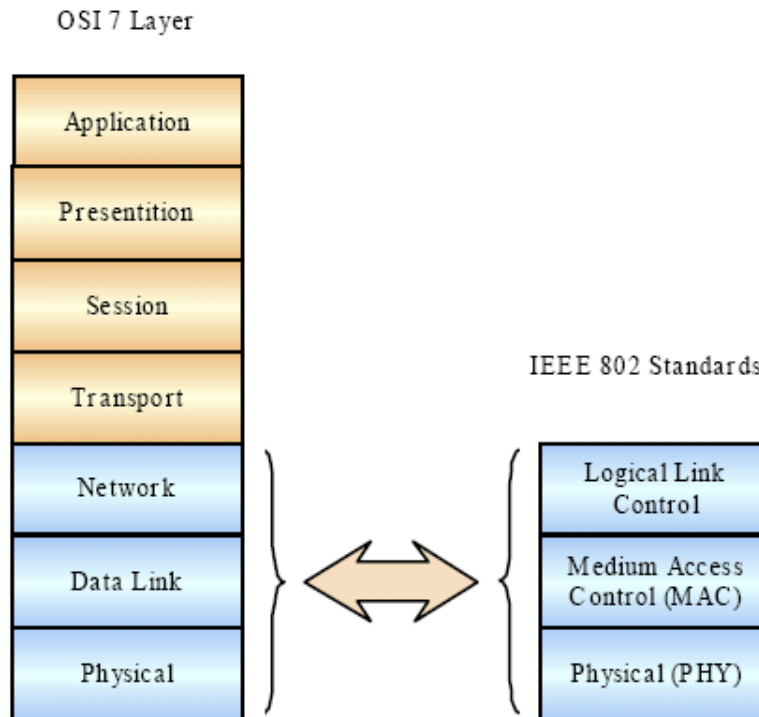


Σχήμα 24-5: Ομότιμη peer-to-peer αρχιτεκτονική



Σχήμα 24-6: Κεντρική Infrastructure αρχιτεκτονική

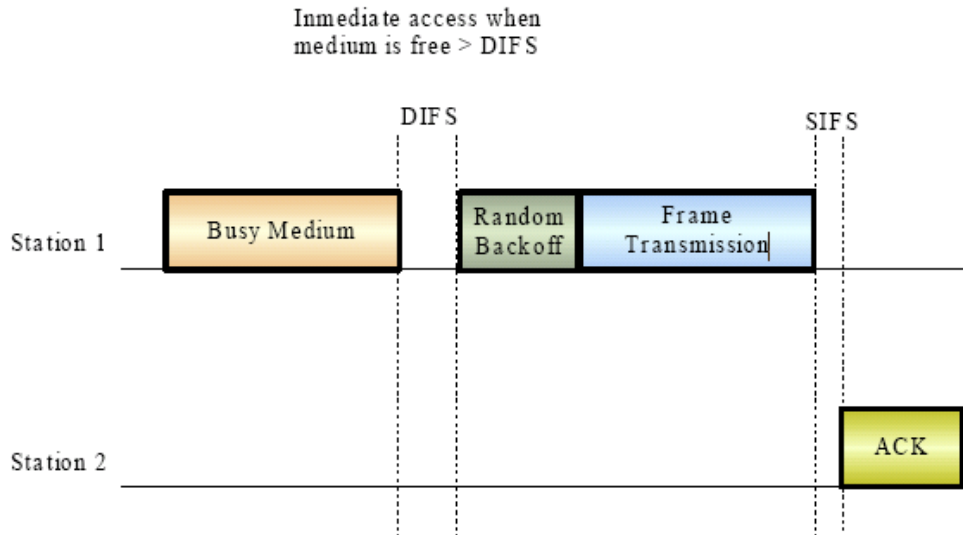
Στο παρακάτω Σχήμα 24-7, μπορούμε να δούμε τα στρώματα σε σχέση με το OSI που καλύπτει το IEEE 802.11



Σχήμα 24-7: 802.11 και OSI στρώματα

24.4.3 IEEE 802.11b MAC - Τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης του μέσου

Το IEEE 802.11 μπορεί να χρησιμοποιήσει δυο μεθόδους ελέγχου πρόσβασης στο μέσο. Τον καταναμημένο συντονιστικό μηχανισμό Distributed Coordination Function (DCF) και τον σημειακό συντονιστικό μηχανισμό Point Coordination Function (PCF). Ο βασικός μηχανισμός πρόσβασης στο μέσο είναι ο καταναμημένος που είναι και γνωστός έως μέθοδος ανίχνευσης δραστηριότητας του μέσου και αποφυγή σύγκρουσης - carrier sense multiple access with collision avoidance (CSMA/CA). Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται σε όλους τους κόμβους που αποτελούν το δίκτυο και εφαρμόζεται και στην infrastructure και peer-to-peer τοπολογία. Όπως βλέπουμε στο Σχήμα 24-8, όταν ένας κόμβος θέλει να εκπέμψει δεδομένα, πρέπει πρώτα αν ελέγξει εάν το μέσο χρησιμοποιείται από άλλο κόμβο. Εάν ανίχνευση δραστηριότητα στο μέσο, αναβάλλει την μετάδοση για ένα τυχαίο χρονικό διάστημα οπισθοδρόμησης back off time. Αν το μέσο είναι ελεύθερο για χρονικό διάστημα μεγαλύτερο του καταναμημένου κενού μεταξύ των πλαισίων Distributed Interframe Space (DIFS), τότε ο κόμβος μεταδίδει την πληροφορία που έχει για αποστολή. Αμέσως μετά την λήψη των δεδομένων από τον αντίστοιχο σταθμό, στέλνεται μια επιβεβαίωση ACK στον αποστολέα μετά από ένα σταθερά ορισμένο χρονικό διάστημα Short Inter-Frame Space (SIFS). Εάν δεν ληφθεί από τον αποστολέα η επιβεβαίωση μέσα σε ένα σταθερό χρονικό διάστημα ACK-timeout, τότε έχουμε επανεκπομπή του ίδιου πλαισίου που αποστάλθηκε. Είναι προφανές ότι αυτό το πρωτόκολλο πολλαπλής πρόσβασης του μέσου, έχει ως σκοπό να ελαχιστοποιήσει τον αριθμό των συγκρούσεων μεταξύ των κόμβων του δικτύου.

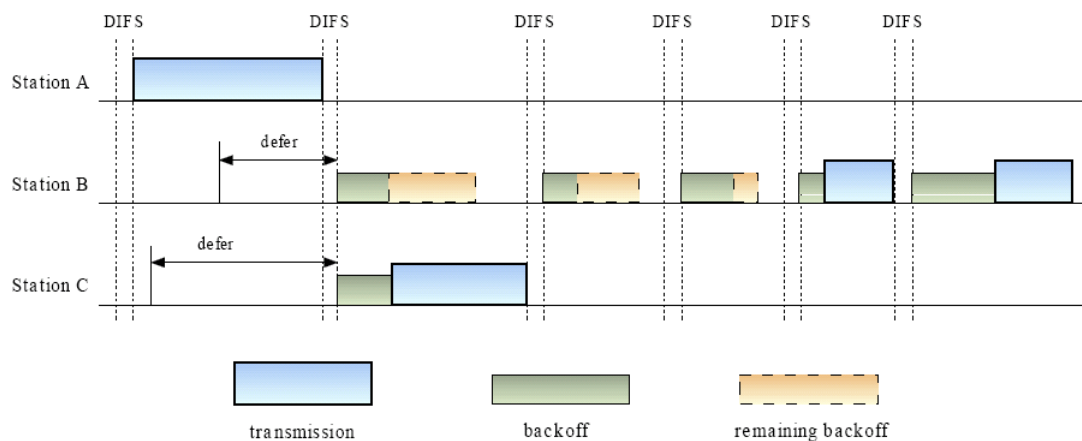


Σχήμα 24-8: Βασική πρόσβαση στο μέσο μετάδοσης MAC

Στο MAC του IEEE 802.11 μπορεί να εφαρμοστεί και ένας άλλος μηχανισμός πολλαπλής πρόσβασης ο PCF, όπως αναφέραμε παραπάνω. Αυτή η μέθοδος μπορεί να εφαρμοστεί μόνο σε τοπολογία υποδομής. Σε αυτήν την τοπολογία το κεντρικό AP παίζει το ρόλο του συντονιστή έτσι ώστε να καθορίζει ποιος κόμβος μπορεί να εκπέμπει. Σε όλες τις παρακάτω τεχνικές υλοποιούμε την κατανεμημένη τεχνική που δείξαμε παραπάνω,

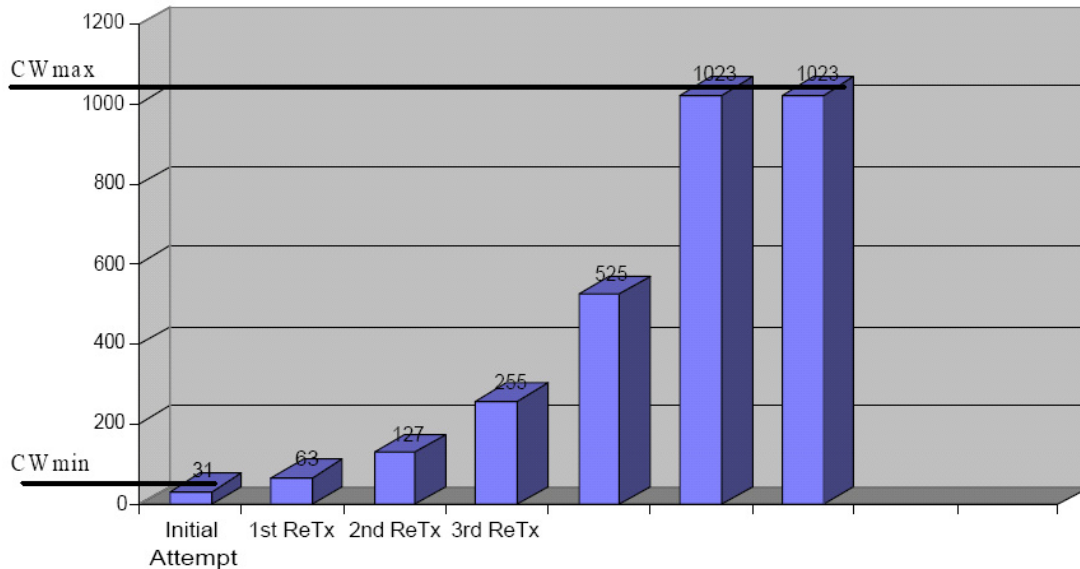
24.3.3.1 Μηχανισμός οπισθοδρόμησης (Back off) CSMA/CA

Για έναν σταθμό η ανίχνευση του μέσου και η διαπίστωση ότι το μέσο είναι ελεύθερο κατά το ορισμένο χρονικό διάστημα DIFS, αυτό σημαίνει άδεια προς μετάδοση. Εάν το μέσο είναι κατειλημμένο ο σταθμός που έχει δεδομένα για μεταδώσει αναβάλλει την μετάδοση έως το τέλος της κατάληψης του μέσου από το άλλο σταθμό. Π.χ στο Σχήμα 24-9 έχουμε τους σταθμούς B και C. Μετά την αναβολή της εκπομπής, ο σταθμός B θα πρέπει να εφαρμόσει τον μηχανισμό οπισθοδρόμησης. Ορίζεται ένας backoff timer ο οποίος αρχικοποιείται με μια τιμή και κατά την διάρκεια που το μέσο είναι ελεύθερο μειώνεται η τιμή του. Εάν κάποιος άλλος σταθμός εκπέμπει τότε το μετρητής παγώνει έως ότου έχουμε πάλι ελεύθερο το μέσο και να αρχίσει να ελαττώνεται. Όταν ο μετρητής φτάσει την τιμή μηδέν τότε εκπέμπει το μήνυμα που έχει.



Σχήμα 24-9: Περιγραφή αλγορίθμου οπισθοδρόμησης (backoff) σε DCF (παραβλέπονται τα SIFS και ACK)

Το CW (Conventional Window) είναι το χρονικό διάστημα μετρούμενο σε σχισμές του παραθύρου συναγωνισμού με αρχική ελάχιστη τιμή CWmin. Κάθε σταθμός στο δίκτυο καθορίζει την αρχική τιμή του backoff timer, σε μια τυχαία τιμή από [0,CW] με ομοιόμορφη κατανομή. Η τιμή το CW, διπλασιάζεται μετά από κάθε ανεπιτυχή εκπομπή, έως ότου φτάσει την μέγιστη τιμή Cwmax. Μετά από κάθε επιτυχημένη εκπομπή η τιμή του CW αρχικοποιείται στην τιμή του CW. Στο Σχήμα 24-10, φαίνεται η τιμή του CW και της αύξησής του σε ένα δίκτυο 802.11b.



Σχήμα 24-10: Εκθετική αύξηση του CW

24.3.3.2 Μηχανισμός επιλογής bit-rate και χρησιμοποιούμενης διαμόρφωσης

Όπως αναφέραμε παραπάνω τα δίκτυα IEEE 802.11 υποστηρίζουν μια πληθώρα συνδυασμών ρυθμών μετάδοσης. Ο κάθε ρυθμός μετάδοσης χρησιμοποιεί και διαφορετικό σχήμα κωδικοποίησης και διαμόρφωσης της πληροφορίας. Για την επιλογή του βέλτιστου ρυθμού μετάδοσης και της καλύτερης κωδικοποίησης υπό τις τρέχουσες συνθήκες του δικτύου, εφαρμόζεται ένα αλγόριθμος που επιβλέπει το SNR της σύνδεσης. Από το SNR και την θεωρητική απόδοση κάθε κωδικοποίησης σε αυτές τις συνθήκες επιλέγεται η διαμόρφωση που πληροί το κριτήριο να έχουμε $BER < 10^{-6}$

Οι διαθέσιμες κωδικοποιήσεις και οι αντίστοιχοι ρυθμοί μετάδοσης

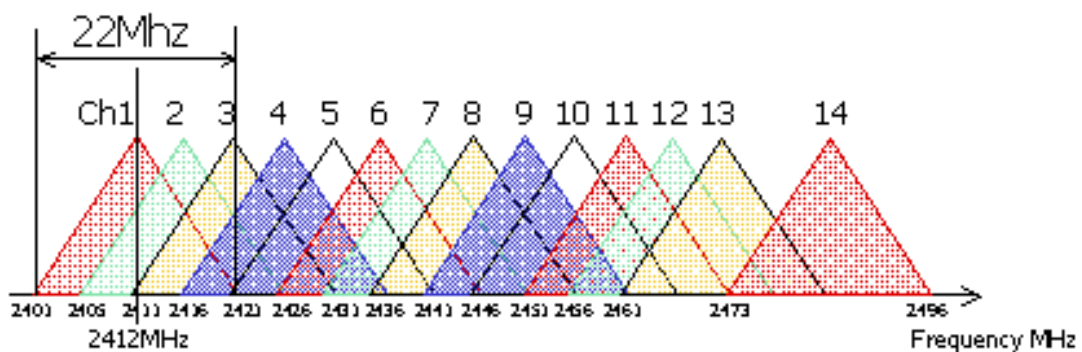
- DBPSK @ 1Mbps
- DQPSK @ 2Mbps
- CCK @ 5.5 & 11Mbps
- BPSK @ 6 and 9 Mbps
- QPSK @ 12 and 18 Mbps
- 16-QAM @ 24 and 36 Mbps
- 64-QAM @ 48 and 54 Mbps

Ρυθμοί μετάδοσης και θεωρητική ευαισθησία του δέκτη για επίπεδο λευκού θορύβου -100 dBm.

- 93dBm @ 1Mbps
- 92dBm @ 2Mbps
- 91dBm @ 5.5Mbps
- 90dBm @ 11Mbps
- 88dBm @ 6Mbps
- 86dBm @ 9Mbps
- 84dBm @ 12Mbps
- 82dBm @ 18Mbps
- 80dBm @ 24Mbps
- 78dBm @ 36Mbps
- 75dBm @ 48Mbps
- 72dBm @ 54Mbps

24.3.4 IEEE 802.11b Physic Layer - Frequency Band

Τα δίκτυα IEEE 802.11 χρησιμοποιούν το φάσμα συχνοτήτων 2.4 GHz - 5 GHz. Ποιο αναλυτικά στην μπάντα των 2.4 GHz έχουμε 14 διαθέσιμα κανάλια συνολικά τα οποία περιορίζονται σε αριθμό ανάλογα με τις τοπικές νομοθεσίες. Π.χ στην Αμερική (FCC) έχουμε 11 κανάλια, στην Ευρώπη 13 κανάλια και Ιαπωνία 14 κανάλια. Κάθε κανάλι απέχει από το γειτονικό του κατά 5 MHz. Το συνολικό RF bandwidth που χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο είναι 22 MHz, όπως φαίνεται στο παρακάτω Σχήμα 24-11. Δηλαδή τα μη επικαλυπτόμενα κανάλια είναι 3 ή 4, ανάλογα με την περιοχή.



Σχήμα 24-11: Κανάλια IEEE 802.11 και συχνότητες

Στο Πίνακα 24-1, έχουμε την αντιστοίχιση των καναλιών και των κεντρικών συχνοτήτων.

Channel	Lower Frequency	Center Frequency	Higher Frequency
1	2.401	2.412	2.423
2	2.406	2.417	2.428
3	2.411	2.422	2.433
4	2.416	2.427	2.438
5	2.421	2.432	2.443
6	2.426	2.437	2.448
7	2.431	2.442	2.453
8	2.436	2.447	2.458
9	2.441	2.452	2.463
10	2.451	2.457	2.468
11	2.451	2.462	2.473
12	2.456	2.467	2.478
13	2.461	2.472	2.483
14	2.466	2.477	2.488

Πίνακας 24-1: IEEE 802.11b-g κανάλια και συχνότητες

	802.11a	802.11b	802.11g	802.11
Standard approved	Sep. 1999	Sep. 1999	June 2003	July 1997
Available bandwidth	300 MHz	83.5 MHz	83.5 MHz	83.5 MHz
freq. of operation	5.15-5.35G 5.725-5.825G	2.4-2.4835G	2.4-2.4835G	2.4-2.4835G
No. of non-overlapping Ch.	4	3	3	3
Rate per channel (Mbps)	6,12,24,36,48,54	1, 2, 5.5, 11	1, 2, 5.5, 11, 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54	1, 2
Modulation	OFDM	DSSS/CCK	DSSS/CCK; DSSS/OFDM	DSSS, FHSS

Πίνακας 24-2: Τεχνολογίες IEEE WLAN

Παρακάτω στην παρουσίαση και την περιγραφή των επιμέρους τεχνικών θα δούμε αναλυτικά μηχανισμούς που χρησιμοποιούμε προκειμένου να βελτιστοποιήσουμε την απόδοση του δικτύου.

25 Δυναμική μεταβολή της RF ισχύος εκπομπής WLAN σταθμού βάσης

25.1 Εφαρμογή της μεθόδου δυναμικής μεταβολής της ισχύος εκπομπής ενός WLAN σταθμού βάσης

Μια τεχνική αποσυμφόρησης που βασίζεται στην μεταβολή της περιοχής κυριαρχίας ενός ασύρματου σημείου πρόσβασης Access Point AP, αντίστοιχη του C2 Cell resizing, μπορεί και να εφαρμοστεί και στα WLAN δίκτυα, μεταβάλλοντας την ισχύ της RF εξόδου ενός Access Point που έχει υπερβολικό τηλεπικοινωνιακό φορτίο.

Το σκεπτικό αυτής της τεχνικής είναι να εξισορροπήσουμε και να κατανέμουμε ομοιόμορφα την κίνηση σε ένα infrastructure WLAN δίκτυο που έχει ένα επαρκές αριθμό γειτονικών σημείων πρόσβασης Access Points (APs).

Έτσι σε ένα ασύρματο δίκτυο το οποίο έχει μεγάλο αριθμό σημείων πρόσβασης και φυσικά ένα μεγάλο πλήθος χρηστών, μπορούμε να εφαρμόσουμε την μεταβολή της ισχύος εκπομπής, έτσι ώστε να επιτύχουμε την ελάττωση της περιοχής κυριαρχίας ενός σημείου πρόσβασης το οποίο έχει σημαντικά μεγαλύτερο αριθμό χρηστών από τα γειτονικά σημεία πρόσβασης. Έτσι μπορούμε να επιτύχουμε ομοιόμορφη κατανομή των χρηστών ανά AP. Η εφαρμογή αυτής της τεχνικής προϋποθέτει όπως είναι λογικό να υπάρχει επαρκής αλληλοεπικάλυψη μεταξύ των σημείων πρόσβασης έτσι ώστε, η εφαρμογή της τεχνικής να μην προκαλεί κενά στην ραδιοκάλυψη του δικτύου.

25.2 Ανάλυση του μηχανισμού επιλογής AP σε ασύρματα τοπικά δίκτυα

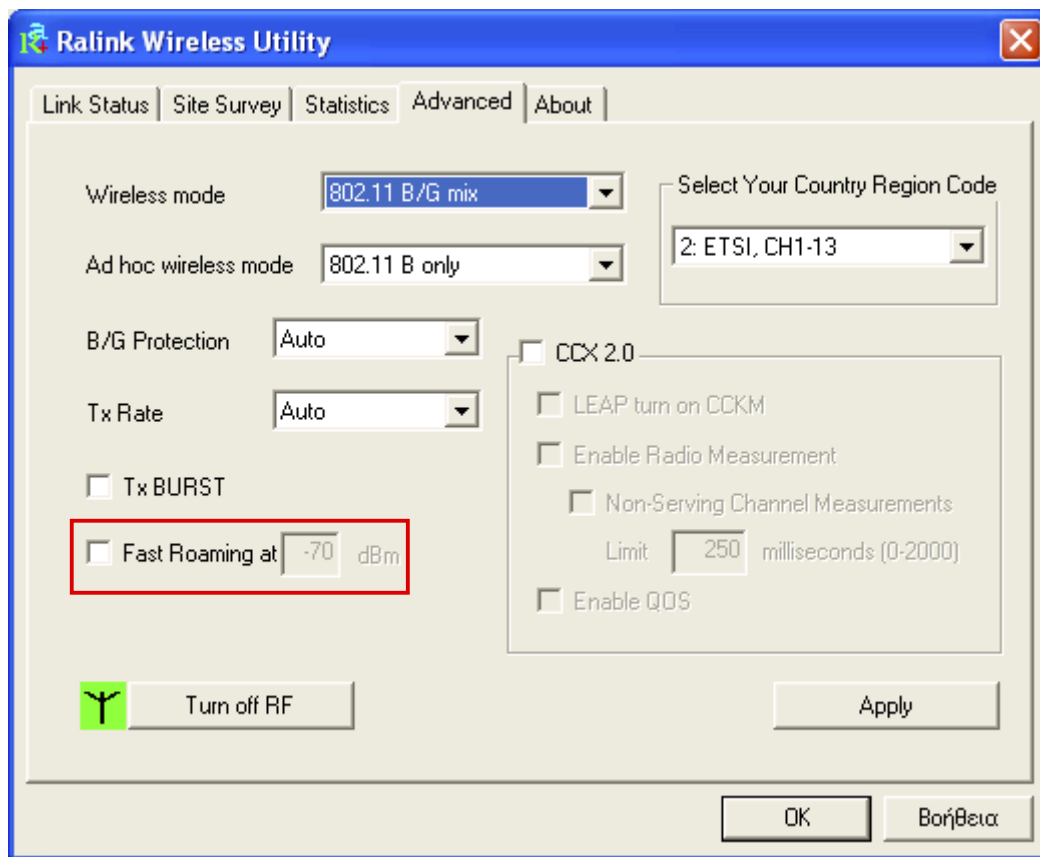
Σ' ένα infrastructure ασύρματο τοπικό δίκτυο όλοι οι σταθμοί βάσης εκπέμπουν το ίδιο service Set Identifier (SSID). Έτσι οι χρήστες αυτού του δικτύου μπορούν να κινούνται κατά μήκος του δικτύου από ένα σημείο πρόσβασης, σε ένα άλλο με αδιάλειπτη παροχή υπηρεσιών (seamless) κατά την διάρκεια μεταγωγής (switching) από το ένα ασύρματο σημείο πρόσβασης στο άλλο. Η επιλογή του καλύτερου (κυρίαρχου) σημείου πρόσβασης είναι βασισμένη στην ιδέα ότι η κάρτα WI-FI του χρήστη πρέπει να χρησιμοποιεί το σημείο πρόσβασης που προσφέρει την καλύτερη κάλυψη. Δηλαδή το σημείο πρόσβασης του ασύρματου τοπικού δικτύου το οποίο στην συγκεκριμένη περιοχή έχει το δυνατότερο σήμα στην κεραία λήψης της κάρτας του χρήστη.

Έτσι ο αλγόριθμος που χρησιμοποιεί μια ασύρματη κάρτα για τον μηχανισμό επιλογής του βέλτιστου σημείου πρόσβασης είναι :

$$RX \text{ επίπεδο (νέο AP)} > RX \text{ επίπεδο (παλαιό AP)} + \text{Access_Point_Reselect_Hysteresis}$$

Η παράμετρος Access_Point_Reselect_Hysteresis είναι μια μη παραμετροποιήσιμη τιμή, που είναι διαφορετική σε κάθε κατασκευαστή WI-FI σε κατασκευαστή. Μερικοί κατασκευαστές παρέχουν προκαθορισμένες τιμές για αυτήν την παράμετρο με αναγνωριστικό της παραμέτρου "πυκνότητα σημείων πρόσβασης" με τις τιμές όπως: Υψηλή, μέση και χαμηλή.

Επίσης σε ορισμένες ασύρματες διεπαφές υπάρχει μια παράμετρος που ονομάζεται fast roaming και παίρνει τιμές σε dBm, η οποία καθορίζει από πια στάθμη σήματος και κάτω η κάρτα ψάχνει για άλλο ισχυρότερο AP. Στο παρακάτω Σχήμα 25-1 παραθέτουμε screenshot από ένα πρόγραμμα διαχείρισης μιας ασύρματης κάρτας.



Σχήμα 25-1: Πρόγραμμα διαχείρισης ασύρματης κάρτας client

25.3 Επηρεασμός των στοιχείων του δικτύου

Αυτή η μέθοδος δεν έχει καμία επίδραση σε άλλα στοιχεία δικτύων. Η μόνη επίδραση είναι στην ραδιοκάλυψη του δικτύου. Στις περιπτώσεις όπου υπάρχει ανάγκη για να μειωθεί σημαντικά η περιοχή κάλυψης ενός υπό-συμφόρηση σημείου πρόσβασης, θα πρέπει να θέσουμε κάποια όρια στο ποσοστό μειώσεις της ισχύς έτσι ώστε να μην έχουμε κενά στην ραδιοκάλυψη.

25.4 Παράμετροι

Η μόνη παράμετρος είναι η ισχύς RF εξόδου κάθε AP, που παίρνει τιμές 0 dBm (1 mW) μέχρι 20 dBm (100 mW).

25.5 Εφαρμογή της τεχνικής και παραδείγματα

Με την βοήθεια του προγράμματος WINPROP, το οποίο έχει την δυνατότητα να κάνει προσομοίωση της ραδιοκάλυψης σε ασύρματα τοπικά δίκτυα, προσομοιώνουμε την ραδιοκάλυψη του ραδιοδικτύου WonderLANd που καλύπτει με IEEE 802.11b σταθμούς την Πολυτεχνειούπολη και υπολογίζουμε την περιοχή κυριαρχίας κάθε σημείου πρόσβασης, σε μια συγκεκριμένη περιοχή.



Σχήμα 25-2: Προσομοίωση των περιοχών κυριαρχίας των APs

Στο Σχήμα 25-2, με τα διάφορα χρώματα βλέπουμε την περιοχή κυριαρχίας των τεσσάρων APs. Το κάθε χρώμα συμβολίζει και διαφορετικό κανάλι από τα 13 επιτρεπόμενα στην περιοχή Ευρώπη. Έστω ότι στο AP με την κόκκινη περιοχή κυριαρχίας υπάρχουν τρεις χρήστες οι οποίοι χρησιμοποιούν την υπηρεσία FTP. Όπως είναι φυσικό η διεκπεραιότητα (throughput) του κάθε χρήστη θα είναι σχετικά χαμηλή λόγω των επιπλέον χρηστών στο ίδιο σημείο πρόσβασης, ενώ τα γειτονικά σημεία πρόσβασης είναι άδεια.

Εφαρμόζοντας την τεχνική, ελαττώνουμε την ισχύ εκπομπής του σημείου πρόσβασης που έχει τους πλεονάζοντες χρήστες κατά 6 dB. Πάλι με την βοήθεια του WINPROP κάνουμε ε-ξομοίωση και έχουμε καινούρια τοπολογία περιοχών κυριαρχίας Σχήμα 25-3.



Σχήμα 25-3: Περιοχή κυριαρχίας του υπό-συμφόρηση AP μετά από 6 dB ελάττωση της ισχύος εκπομπής

Παρατηρούμε την σημαντική αλλαγή στην περιοχή κυριαρχίας του σημείου πρόσβασης. Έτσι ο ποιο απομακρυσμένος χρήστης του πλέον θα εξυπηρετείται από το σημείο πρόσβασης 1. Τώρα με επιπλέον ελάττωση της ισχύος κατά 6 dB, δηλαδή 12 dB από την αρχική ισχύ έχουμε την παρακάτω ραδιοκάλυψη Σχήμα 25-4.

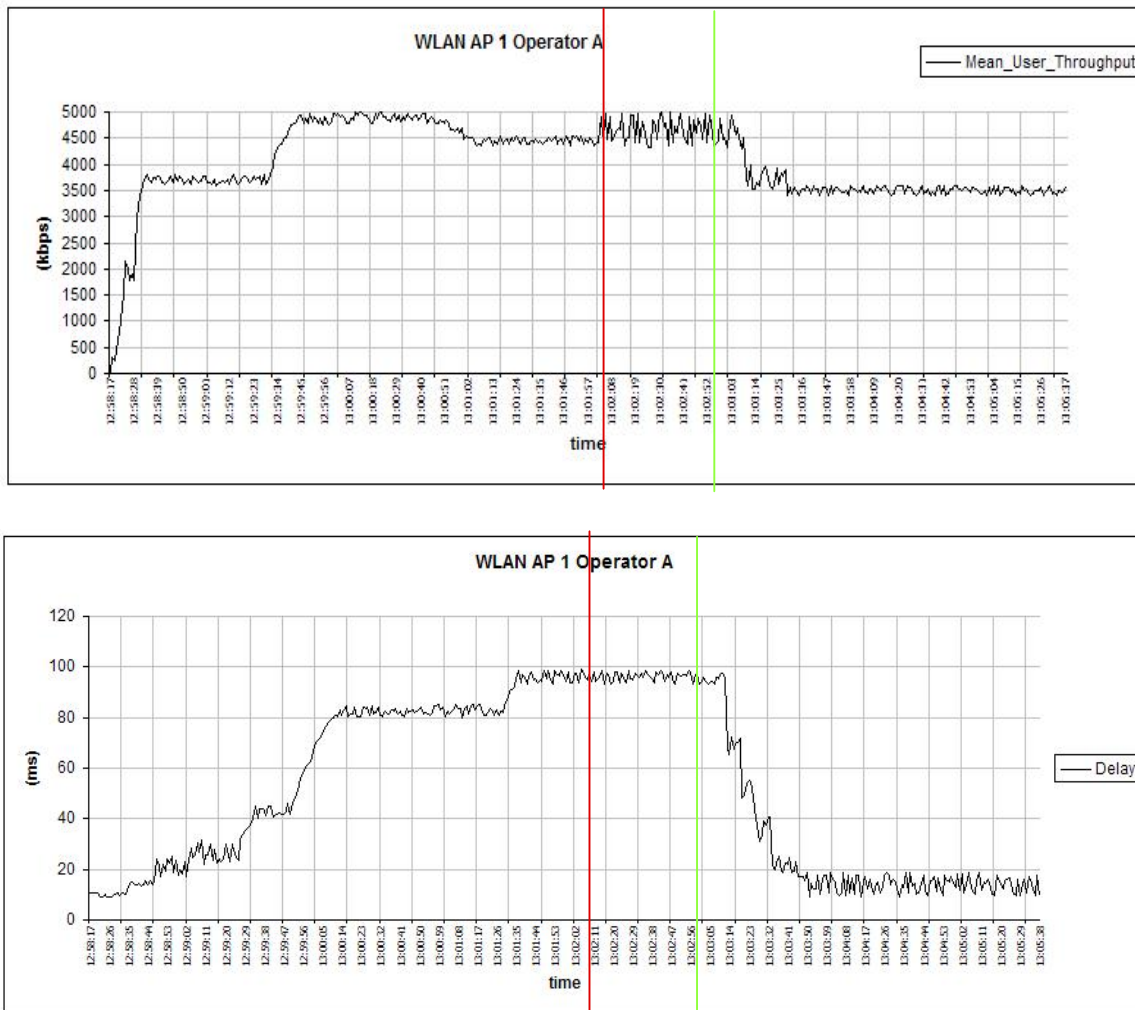


Σχήμα 25-4: Περιοχή κυριαρχίας του υπό-συμφόρηση AP μετά από 12 dB ελάττωση της ισχύος εκπομπής

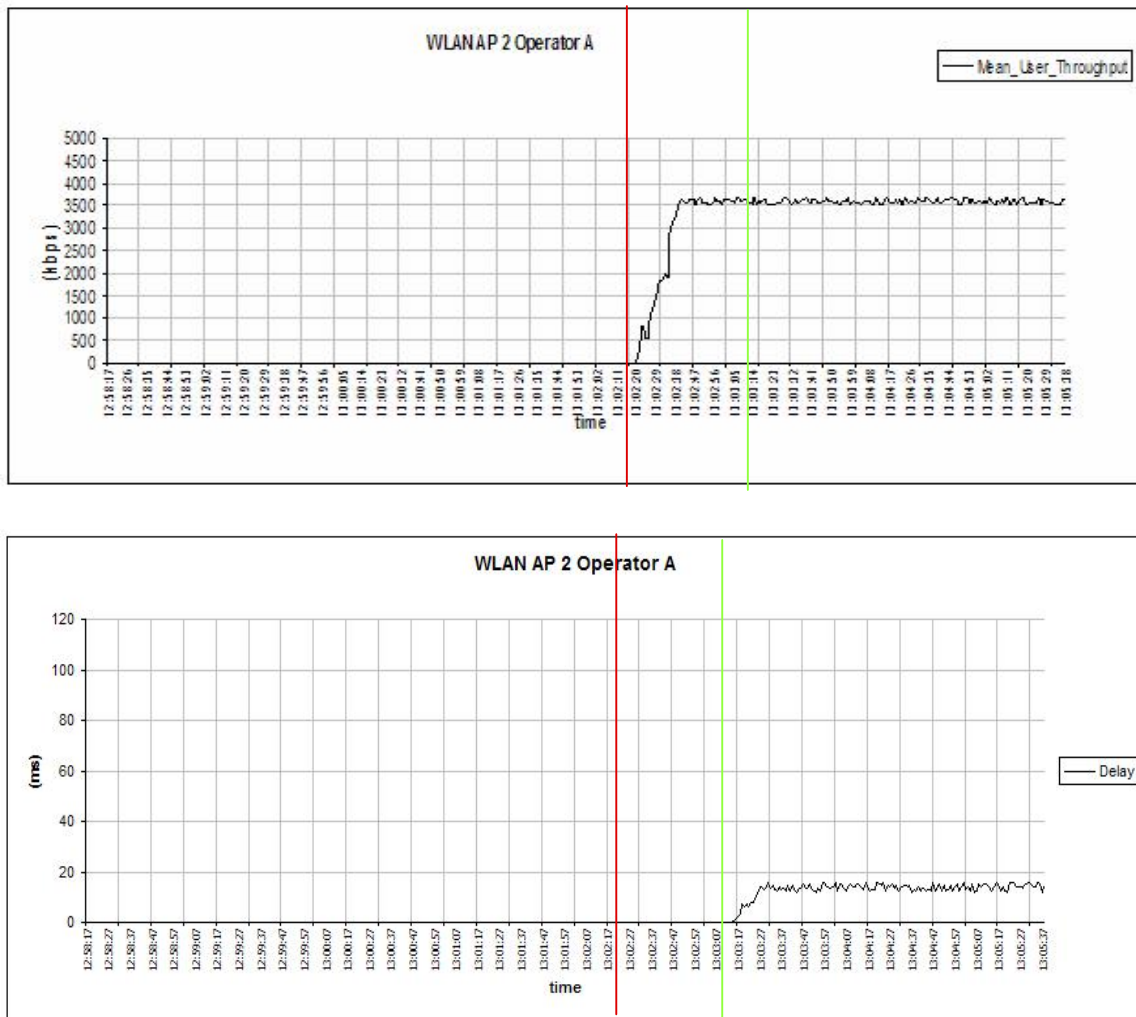
Τελικά βλέπουμε ότι με την ελάττωση της ισχύος εκπομπής του σημείου πρόσβασης 2 κατά 12 dB, καταφέραμε να επιτύχουμε εξισορρόπηση της επιπλέον κίνησης στα γειτονικά σημεία πρόσβασης που ήταν άδεια. Έτσι έχουμε από ένα χρήστη σε κάθε σημείο πρόσβασης, που συνοδεύεται με κατακόρυφη άνοδο της διεκπεραιότητας ανά χρήστη.

Επίσης, παρακάτω παραθέτουμε πραγματικά στοιχεία κίνησης πριν και μετά την εφαρμογή της τεχνικής στο δίκτυο WonderLANd. Τα Διαγράμματα 25-1 έως 25-8 δείχνουν την βελτίωση που υπάρχει όχι μόνο στην διεκπεραιότητα αλλά και σε άλλους δείκτες του βαθμού απόδοσης του δικτύου, όπως καθυστέρηση (delay), απώλεια πακέτων και διακύμανση της καθυστέρησης (jitter).

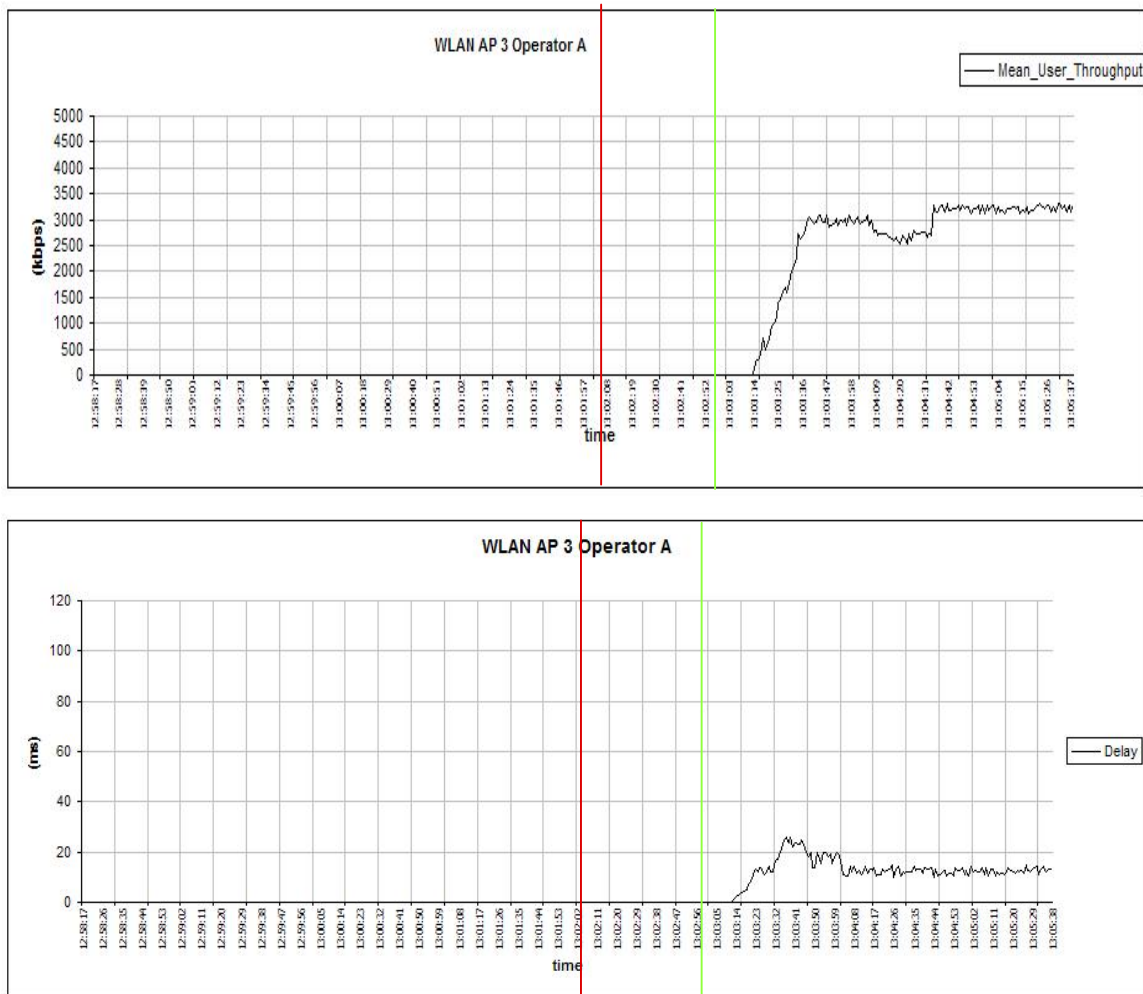
Με την κάθετη κόκκινη γραμμή σηματοδοτούμε την χρονική στιγμή όπου ελαττώσαμε την ισχύ εξόδου του AP1 κατά 6 dB και με την πράσινη γραμμή όταν ελαττώσαμε κατά 12 dB την ισχύ σε σχέση με την αρχική.



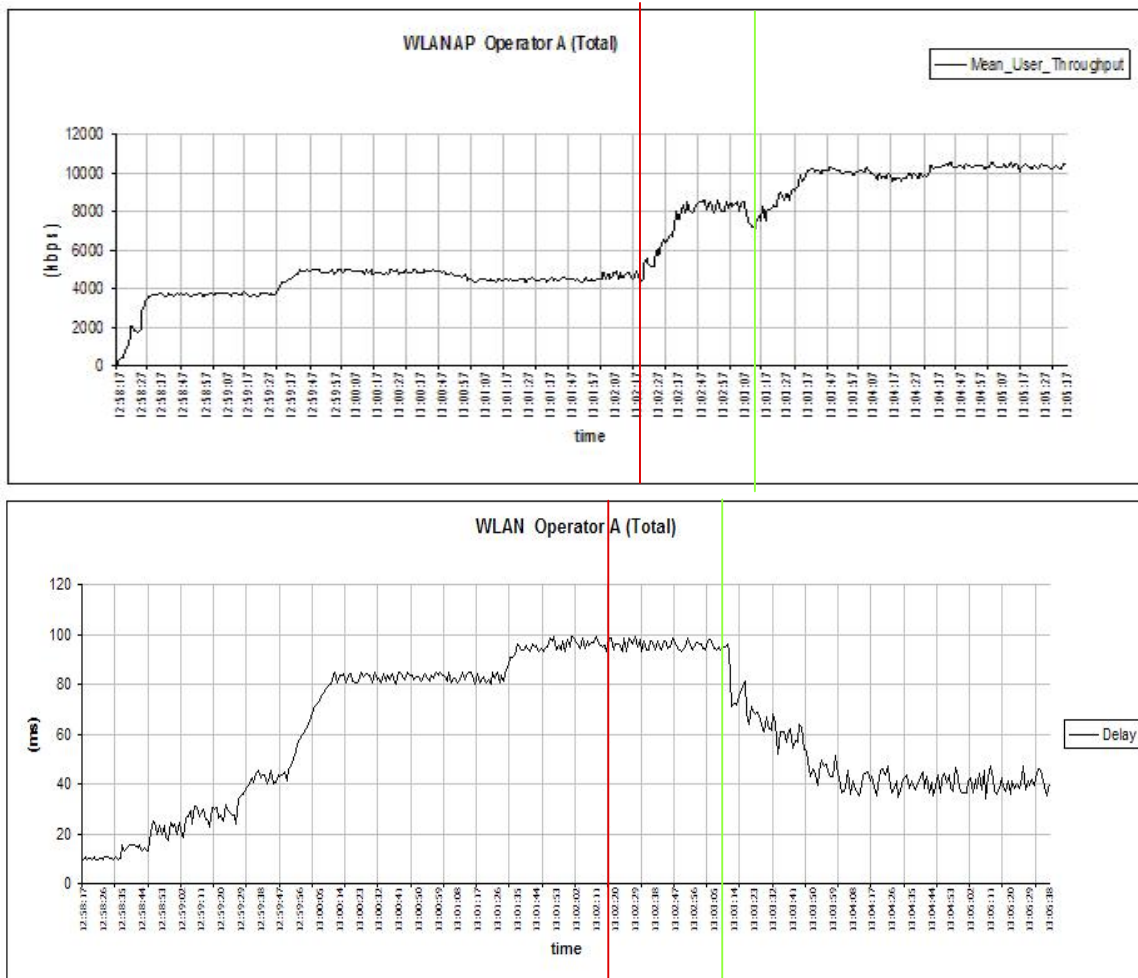
Διάγραμμα 25-1: WLAN AP1 Operator A Mean User Throughput and Delay



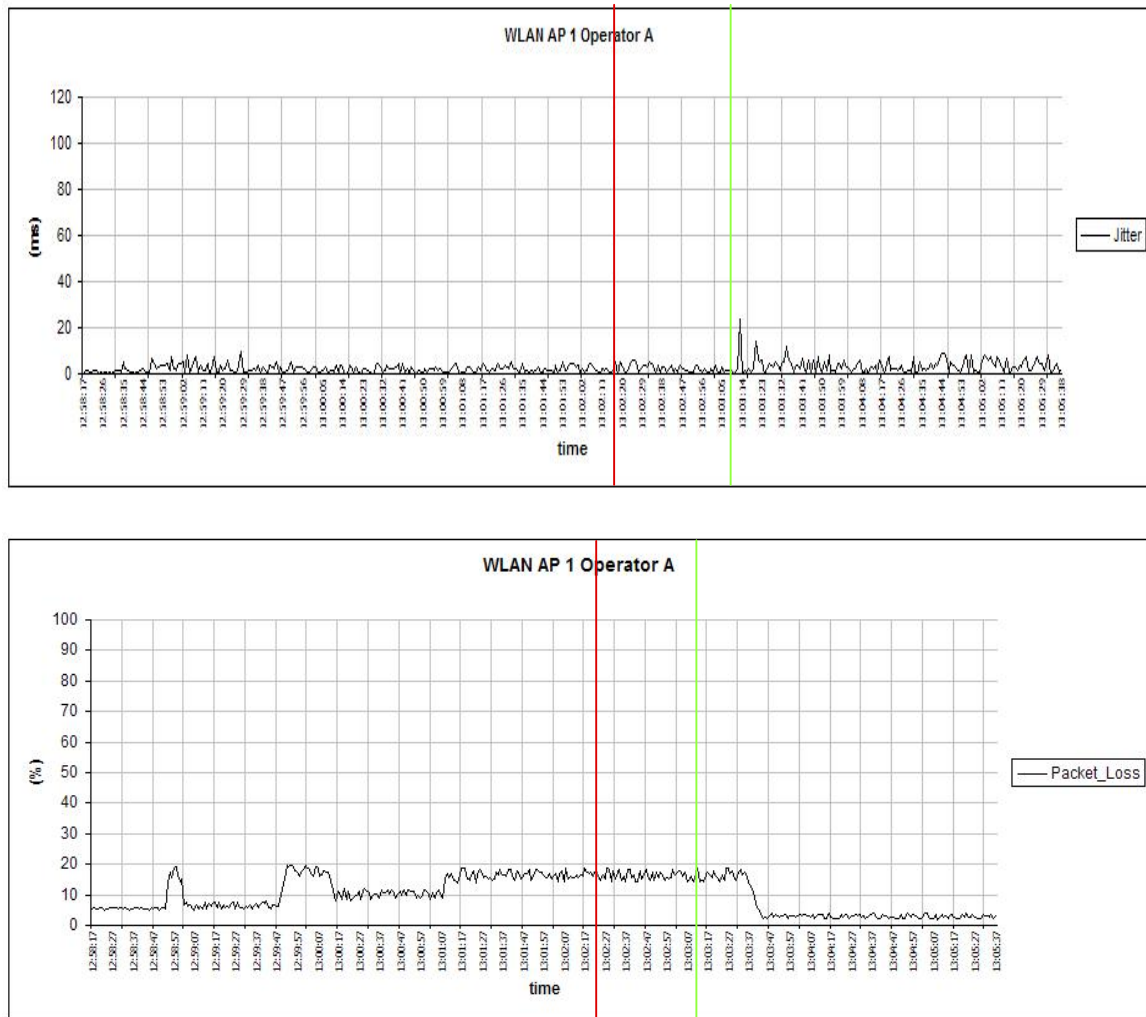
Διάγραμμα 25-2: WLAN AP2 Operator A Mean User Throughput and Delay



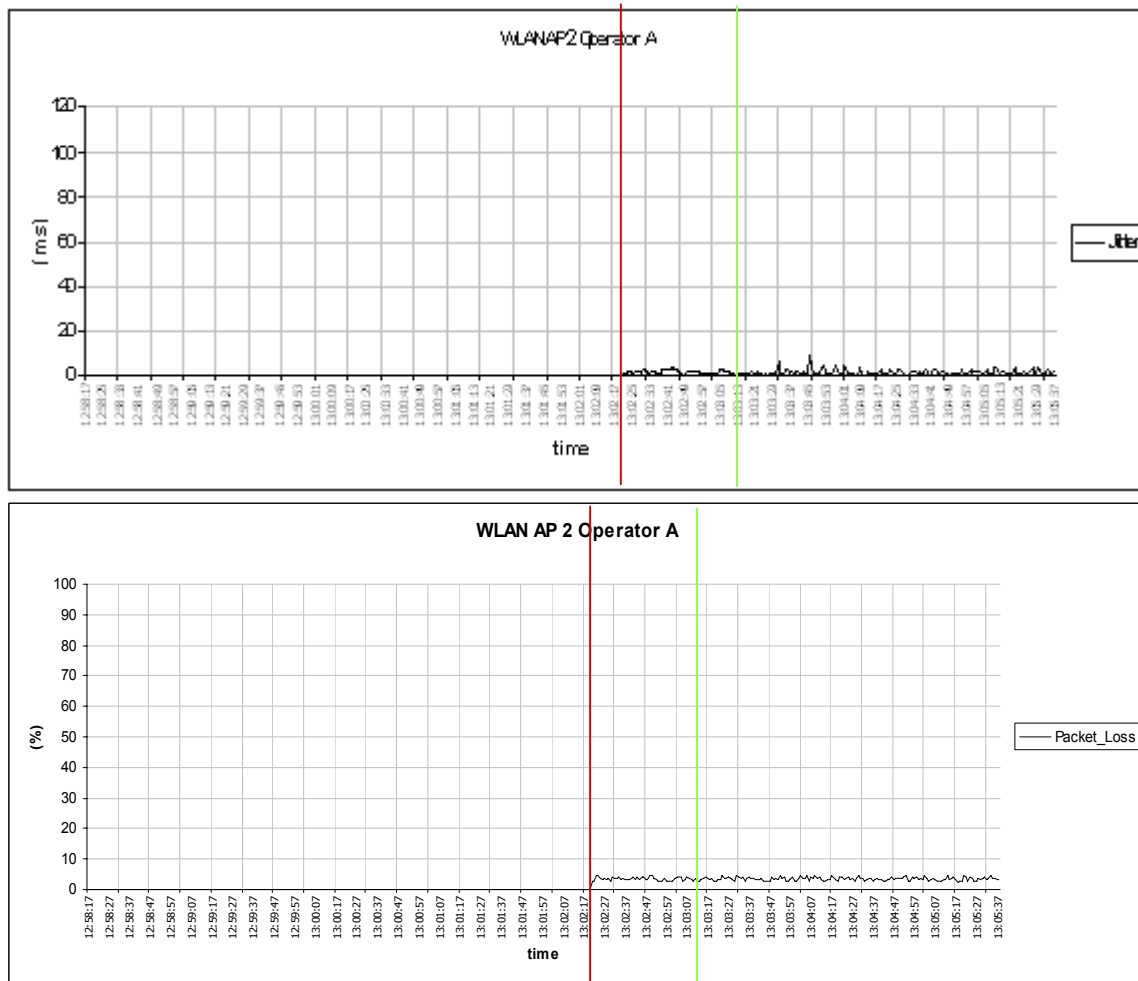
Διάγραμμα 25-3: WLAN AP3 Operator A Mean User Throughput and Delay



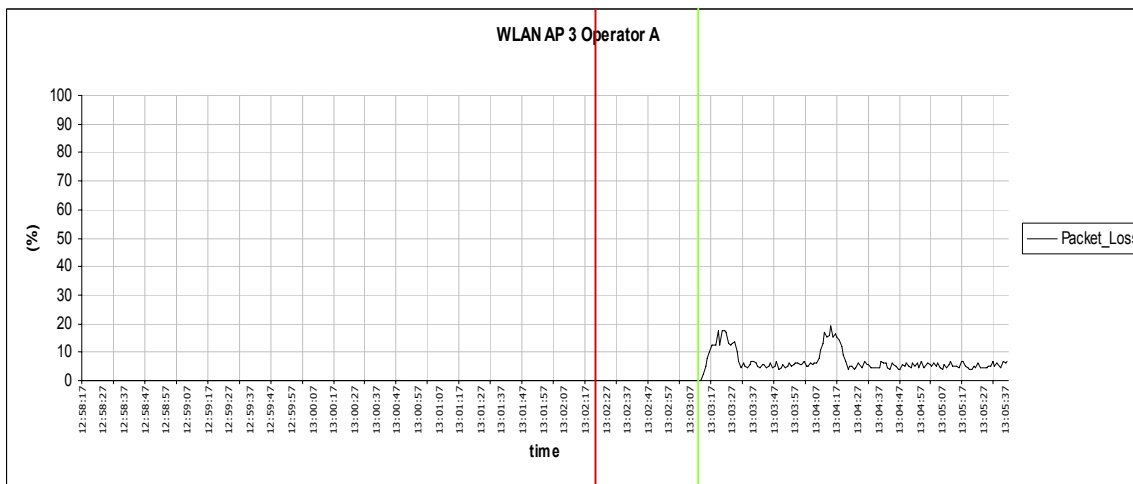
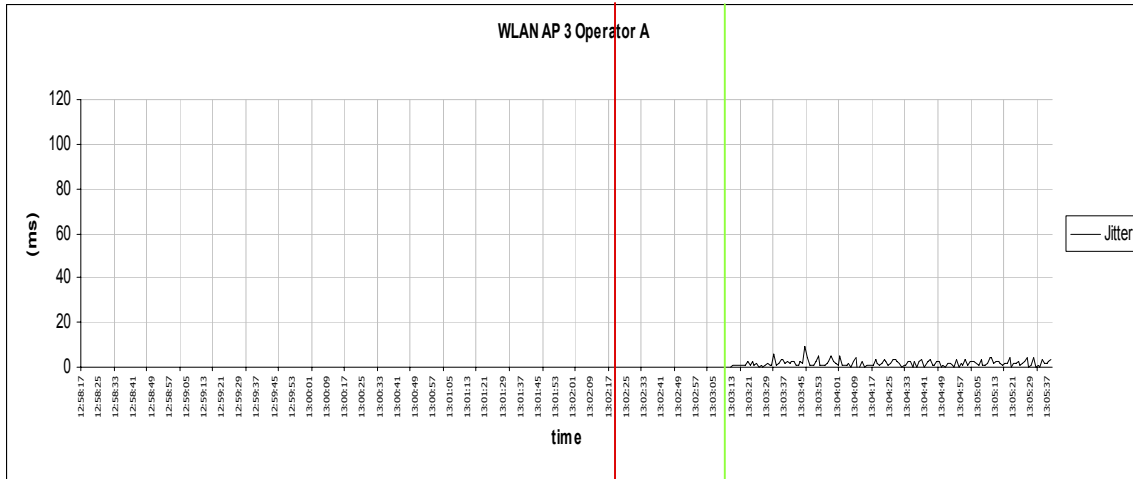
Διάγραμμα 25-4: WLAN total Operator A Mean User Throughput and Delay



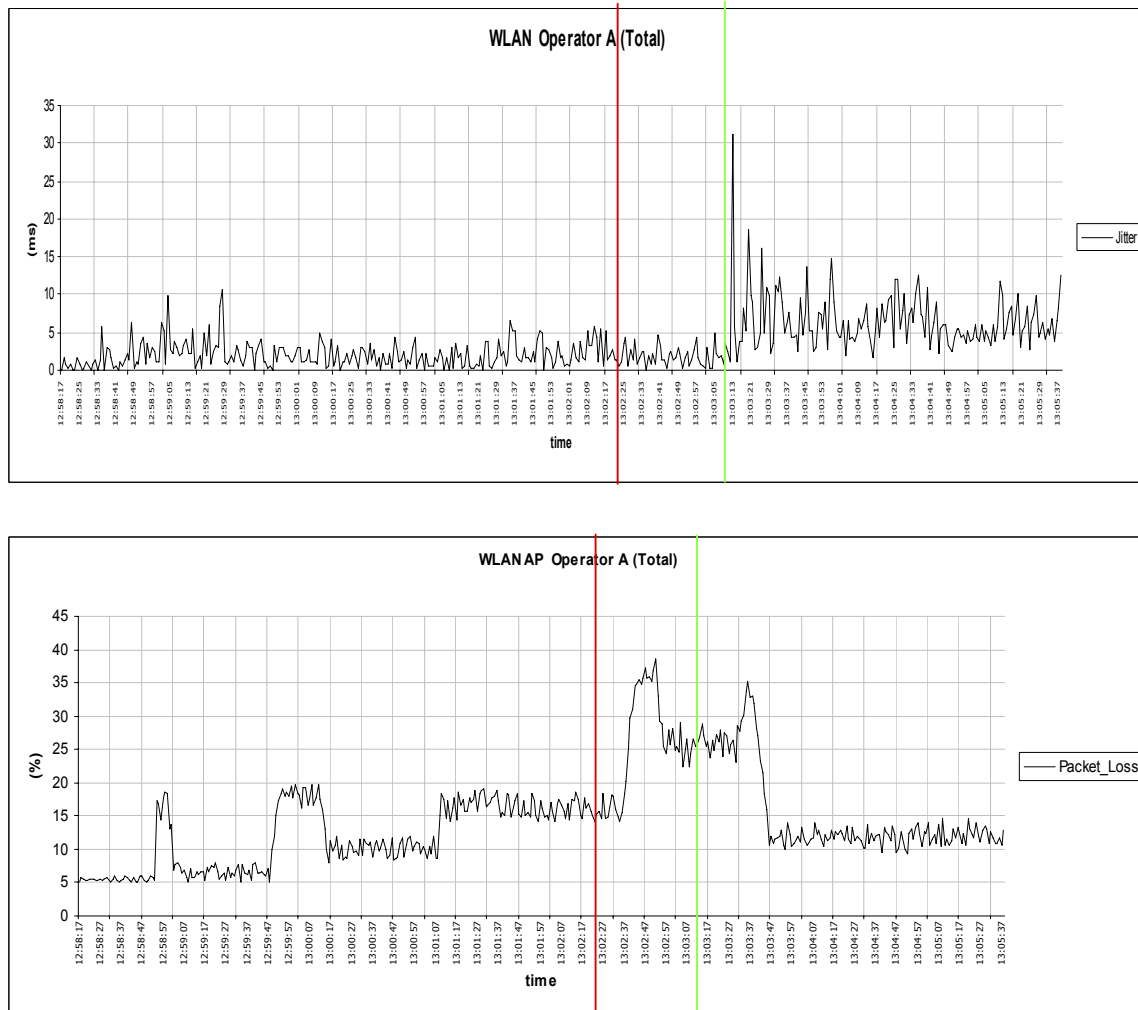
Διάγραμμα 25-5: WLAN AP1 Operator A Jitter and Packet Loss



Διάγραμμα 25-6: WLAN AP2 Operator A Jitter and Packet Loss



Διάγραμμα 25-7: WLAN AP3 Operator A Jitter and Packet Loss



Διάγραμμα 25-8: WLAN Total Operator A Jitter and Packet Loss

Από τα παραπάνω διαγράμματα παρατηρούμε ότι η δοκιμή άρχισε στις 12:58:17. Στις 13:02:20 εφαρμόζουμε το πρώτο στάδιο της τεχνικής ελαττώνοντας την ισχύ του σημείου πρόσβασης 1 κατά 6 dB. Έπειτα στις 13:03:10 εφαρμόζουμε και πάλι την τεχνική ελαττώνοντας αλλά 6 dB την ισχύ του AP 1. Έτσι βλέπουμε την βελτίωση όλων των δεικτών απόδοσης του δικτύου είτε ανά AP είτε συνολικά. Παρατηρούμε ότι η συνολική εξυπηρετούμενη διεκπεραιότητα είχε αύξηση 68 % στο πρώτο στάδιο και 110 % βελτίωση μετά το δεύτερο στάδιο.

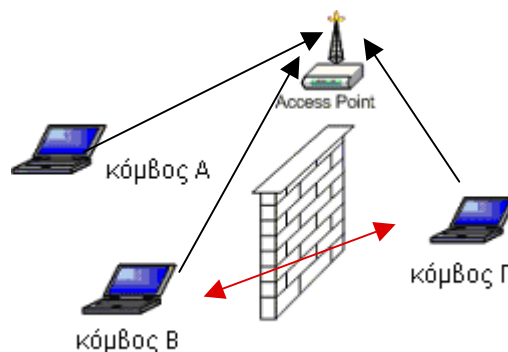
25.6 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα

Αυτή η τεχνική όπως είδαμε μπορεί να αυξήσει σημαντικά την συνολική απόδοση ενός ασυρμάτου δικτύου, επιτυγχάνοντας την ανακατανομή των χρηστών στα σημεία πρόσβασης μέσα στο δίκτυο. Δεν χρειάζεται κάποια επέμβαση στο τερματικό του χρήστη ούτε κάποια κίνηση από τον χρήστη του τερματικού. Η μονή αλλαγή είναι στην ισχύ της εκπομπής του σταθμού βάσης που έχει το πρόβλημα και πουθενά αλλού.

26 Δυναμική ενεργοποίηση-απενεργοποίηση του μηχανισμού RTS/CTS

26.1 Γενικά

Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιαστεί μια μέθοδος βελτιστοποίησης της απόδοσης δικτύων IEEE 802.11x με την **δυναμική** χρήση του μηχανισμού RTS/CTS, όταν λειτουργούν σε infrastructure mode. Τα ασύρματα δίκτυα υπολογιστών και κατά συνέπεια τα δίκτυα της οικογένειας IEEE 802.11x χρησιμοποιούν το μηχανισμό RTS/CTS για την πρόσβαση στο ασύρματο μέσο. Συγκεκριμένα σε ένα ασύρματο δίκτυο υπολογιστών WLAN υπάρχει ένα εγγενές πρόβλημα γνωστό και ως «πρόβλημα του κρυμμένου κόμβου». Δηλαδή σε ένα ασύρματο δίκτυο υπολογιστών WLAN (infrastructure mode) κάθε κόμβος πριν εκπέμψει την πληροφορία που έχει για αποστολή προς το Access Point AP, ελέγχει το μέσο μετάδοσης. Αν σε αυτό υπάρχει δραστηριότητα, δηλαδή κάποιος κόμβος εκπέμπει τότε περιμένει να τελειώσει η αποστολή και έπειτα αφού το μέσο δεν είναι απασχολημένο, μεταδίδει την πληροφορία. Αυτό το πρωτόκολλο είναι το πασίγνωστο CSMA/CD (*Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection*). Σ' ένα ασύρματο δίκτυο infrastructure mode, είναι σίγουρο ότι κάθε κόμβος πρέπει να είναι στην εμβέλεια του AP. Έτσι κόμβοι ενός τέτοιου δικτύου μπορεί να ακούν το AP αλλά να μην έχει πρόσβαση ο ένας στο άλλο. Π.χ στο Σχήμα 26-1 βλέπουμε ένα infrastructure δίκτυο με 1 AP και 3 clients. Οι κόμβοι Α,Β ακούγονται μεταξύ τους, δεν ακούνε όμως το κόμβο Γ. Αυτό σημαίνει ότι ο κόμβος Γ θα συγκρούεται συχνά και θα παρεμβάλει τους άλλους δυο κόμβους.

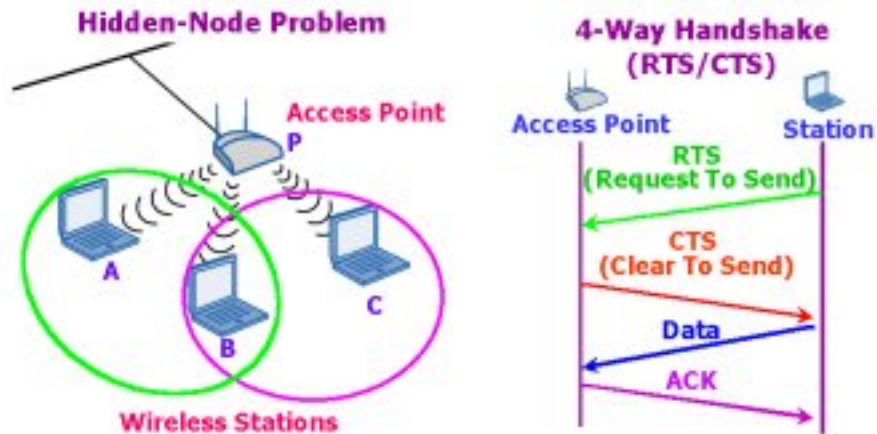


Σχήμα 26-1: WLAN δίκτυο infrastructure

Αυτό δημιουργεί το προαναφερθέν πρόβλημα. Δηλαδή ένας κόμβος ελέγχει το μέσο βλέπει ότι δεν υπάρχει δραστηριότητα και εκπέμπει την πληροφορία προς το AP, εκείνη την στιγμή όμως υπάρχει ήδη σε εξέλιξη μετάδοση πληροφορίας από άλλο κόμβο που όμως ο πρώτος κόμβος δεν το έλαβε κατά το έλεγχο του μέσου. Έτσι έχουμε παρεμβολές στην μετάδοση της πληροφορίας. Αυτό το πρόβλημα μεταφράζεται σε απώλεια πακέτων πληροφορίας (packet loss) που συνεπάγεται κακή λειτουργία του ασυρμάτου δικτύου. Δηλαδή το δίκτυο έχει κακό QoS λόγω χαμηλής διεκπεραιότητας (throughput), καθυστερήσεις (delay) και jitter.

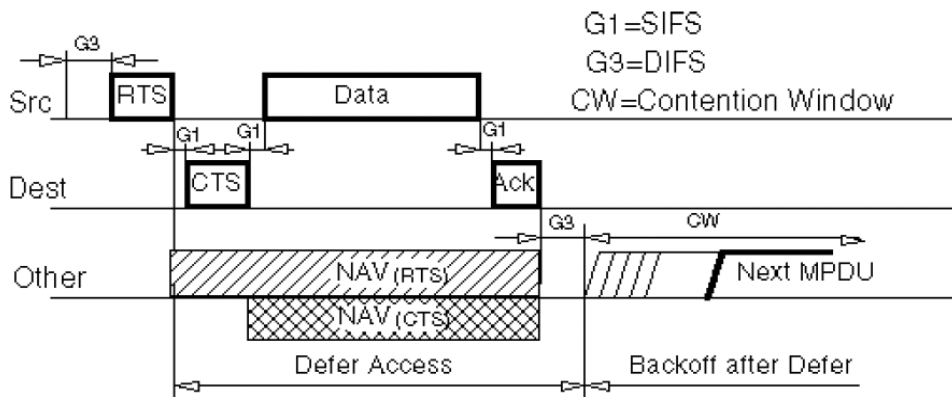
26.2 Περιγραφή μηχανισμού RTS/CTS

Με το μηχανισμό RTS/CTS κάθε κόμβος πριν εκπέμψει την πληροφορία του προς το AP, εκπέμπει ένα μικρό πακέτο σημαία (flag) μήκους 20 byte, που ονομάζεται RTS (Ready To Send). Αυτό το μήνυμα λαμβάνεται από το AP και αν το μέσο είναι ελεύθερο ανταποκρίνεται με ένα επίσης σύντομο μήνυμα CTS (Clear To Send). Σχήμα 26-2 Τα Frame RTS,CTS και ACK ανήκουν στα πλαίσια έλεγχου (control frames) του IEEE 802.11



Σχήμα 26-2: Περιγραφή του μηχανισμού RTS/CTS

Επίσης στο παρακάτω Σχήμα 26-3, μπορούμε να δούμε την λεπτομερή χρονική αλληλουχία του μηχανισμού.



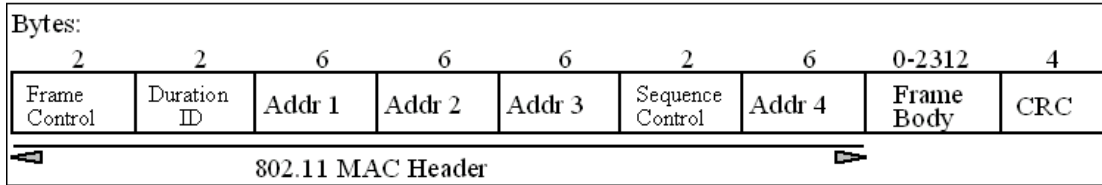
Σχήμα 26-3: Χρονική αλληλουχία μηχανισμού RTS/CTS

Το χρονικό διάστημα NAV (Network Allocation Vector) έχει την σκοπιμότητα να λειτουργεί σαν εικονικός δείκτης για το αν χρησιμοποιείται το μέσο (Virtual Carrier Sense indicator). Επίσης βλέπουμε και τα χρονικά διαστήματα SIFS (Sort InterFrame Space) και τα DIFS (Distributed InterFrame Space)

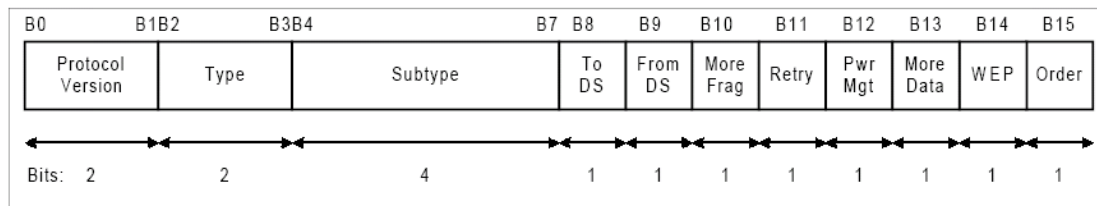
Ο μηχανισμός αυτός εξασφαλίζει την ελαχιστοποίηση των παρεμβολών και συγκρούσεων μεταξύ των κόμβων. Μπορεί να έχουμε σύγκρουση μιας αποστολής RTS με ένα κανονικό πακέτο πληροφορίας, αλλά λόγω του μικρού μεγέθους ελαχιστοποιείται και η πιθανότητα να συμβεί αυτό αλλά και να αλλοιώσει το πακέτο πληροφορίας. Επίσης μπορεί να έχουμε και

σύγκρουση μεταξύ μηνυμάτων RTS που είναι πολύ σπάνιο και υπάρχει ο αλγόριθμος back off που το επιλύει αλλά δεν περιγράφεται σε αυτό το κεφάλαιο.

Στα δίκτυα IEEE 802.11 το πλαίσιο (frame) μετάδοσης της πληροφορίας έχει την παρακάτω δομή, Σχήμα 26-4.



Σχήμα 26-4: MAC data IEEE 802.11 2346 Byte



Σχήμα 26-5: Frame Control 16 bit

Protocol version: μήκους 2 bit. Στο τρέχον πρωτόκολλο η τιμή είναι 00

Type και Subtype: μήκους 2 και 4 bit αντίστοιχα, καθορίζουν το τύπο του πλαισίου βάσει του παρακάτω Πίνακα 26-1

Type Value b3 b2	Type Description	Subtype Value b7 b6 b5 b4	Subtype Description
00	Management	0000	Association Request
00	Management	0001	Association Response
00	Management	0010	Reassociation Request
00	Management	0011	Reassociation Response
00	Management	0100	Probe Request
00	Management	0101	Probe Response
00	Management	0110-0111	Reserved
00	Management	1000	Beacon
00	Management	1001	ATIM
00	Management	1010	Disassociation
00	Management	1011	Authentication
00	Management	1100	Deauthentication
00	Management	1101-1111	Reserved
01	Control	0000-1001	Reserved
01	Control	1010	PS-Poll
01	Control	1011	RTS
01	Control	1100	CTS
01	Control	1101	ACK
01	Control	1110	CF End
01	Control	1111	CF End + CF-ACK
10	Data	0000	Data
10	Data	0001	Data + CF-Ack
10	Data	0010	Data + CF-Poll
10	Data	0011	Data + CF-Ack + CF-Poll
10	Data	0100	Null Function (no data)
10	Data	0101	CF-Ack (no data)
10	Data	0110	CF-Poll (no data)
10	Data	0111	CF-Ack + CF-Poll (no data)
10	Data	1000-1111	Reserved
11	Reserved	0000-1111	Reserved

Πίνακας 26-1: Subtype description

Το συνολικό MAC frame που εκπέμπεται στο ασύρματο μέσο έχει την παρακάτω μορφή Σχήμα 26-6.



Σχήμα 26-6: MAC frame IEEE 802.11 2346 Byte

Το Preamble αποτελείται από το:

SYNC: που είναι μια ακολουθία 80 bit εναλλασσόμενων 0 και 1, η οποία βοηθάει τον παραλήπτη να επιλέξει την σωστή κεραία, αν χρησιμοποιεί antenna diversity, αλλά και χρησιμοποιείται σαν ένδειξη στο κεντράρισμα της συχνότητας και στο συγχρονισμό.

SFD: μια ακολουθία 16 bit 0000 1100 1011 1101 που σηματοδοτεί την αρχή του πλαισίου.

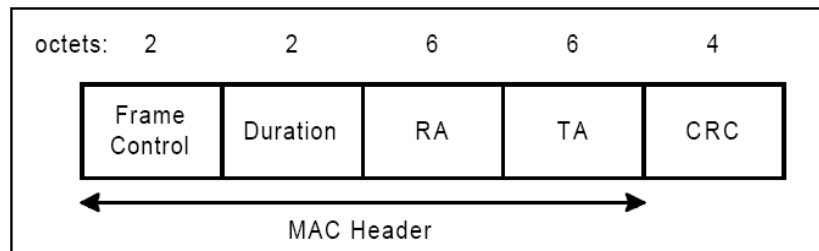
Το PLCP Header μήκους 42 byte εκπέμπεται πάντα στο βασικό ρυθμό του δικτύου, που είναι συνήθως το 1Mbps και αποτελείται από:

PLCP_PDU length _word: περιέχει το μήκος του πακέτου. Έτσι ο παραλήπτης γνωρίζει το τέλος του πακέτου.

PLCP_signaling_field: περιέχει το ρυθμό μετάδοσης της πληροφορίας από 1 Mbps έως 11 Mbps

Header Error Check Field: που είναι μήκους 16bit CRC

Επίσης η μορφή των πλαισίων ελέγχου RTS και CTS φαίνεται στα παρακάτω Σχήματα 26-7

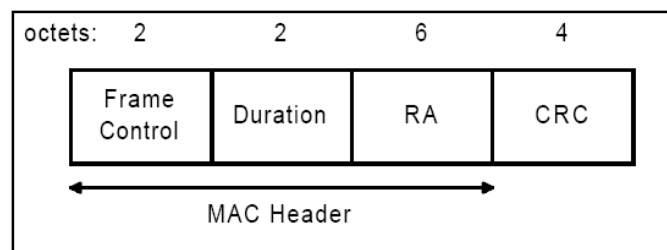


Σχήμα 26-7 : Μορφή πλαισίου RTS

Το frame control είναι όπως έχει περιγραφή παραπάνω, το duration είναι ο χρόνος που χρειάζεται για να εκπεμφθεί το πλαίσιο που ακολουθεί, συν το χρόνο για την λήψη του CTS πλαισίου, συν το χρόνο ενός ACK και συν 3 χρονικές περιόδους SIFs.

Το RA και TA είναι η MAC διεύθυνση του παραλήπτη και του αποστολέα.

Ομοίως έχουμε και το CTS.

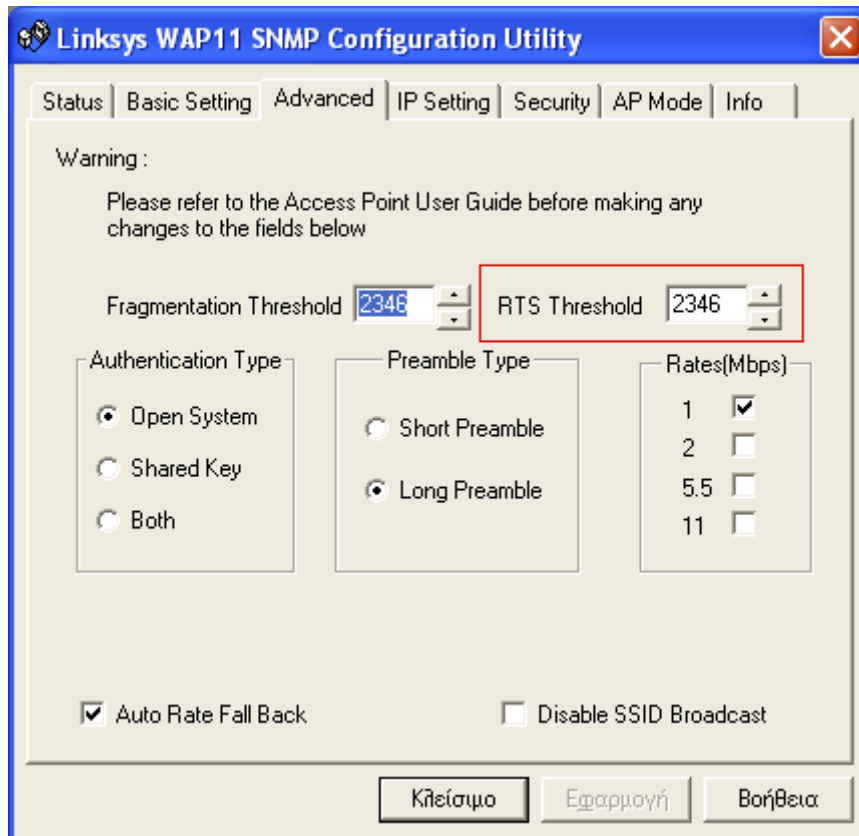


Σχήμα 26-8 : Μορφή πλαισίου CTS

Δηλαδή το μέγιστο μήκος του πλαισίου είναι 2346 byte. Για την χρησιμοποίηση των flag RTS/CTS από ένα κόμβο χρησιμοποιείται ένα μηχανισμός κατωφλίου. Δηλαδή υπάρχει μια παράμετρος RTS Threshold (0 – 2347 byte) που καθορίζει σε συνάρτηση με το μέγεθος του

υπό μετάδοση πλαισίου, αν θα εκπεμφθεί ένα RTS ή όχι. Δηλαδή αν θέσουμε στην παράμετρο αυτή την τιμή 2346, σημαίνει ότι θα έχουμε εκπομπή RTS μηνύματος μόνο αν το μέγεθος του πακέτου data έχει μέγεθος 2312 Byte. Αν το υπό μετάδοση πακέτο (πριν ενθυλακωθεί στο IEEE 802.11 frame) είναι μικρότερο από το 2312 byte τότε θα μεταδοθεί κατευθείαν χωρίς την χρήση RTS. Αν θέσουμε τιμή 2347 τότε απενεργοποιείται οριστικά ο μηχανισμός του RTS.

Στο Σχήμα 26-9 παρατίθεται screenshot από λογισμικό ελέγχου κόμβου.



Σχήμα 26-9 : RTS Threshold

26.3 Δυναμική ενεργοποίηση/απενεργοποίηση του μηχανισμού RTS/CTS

Όπως καταλαβαίνουμε ο μηχανισμός RTS/CTS έτσι όπως χρησιμοποιείται από τα υπάρχοντα δίκτυα είναι στατικός και χρησιμοποιείται έχουμε ή δεν έχουμε συγκρούσεις μεταξύ κόμβων στο φυσικό μέσο. Αυτό δημιουργεί το εξής μειονέκτημα. Η εκπομπή των μηνυμάτων RTS και CTS να μεν είναι σύντομη (λόγο μικρού μεγέθους), αλλά σε δίκτυα όπως τα IEEE 802.11a/g όπου υποστηρίζονται μεγάλες ταχύτητες και αυτή η μικρή καθυστέρηση είναι εις βάρος της τελικής απόδοσης του δικτύου, ειδικά σε περίπτωση που όλοι οι κόμβοι ακούγονται μεταξύ τους, οπότε και η χρήση των flags είναι ανώφελη.

Με την δυναμική χρήση του μηχανισμού RTS/CTS, προτείνουμε να μεταβάλλεται η τιμή της παραμέτρου RTS Threshold δυναμικά και βάση του δείκτη απόδοσης απώλεια πακέτων (KPI packet loss). Δηλαδή όταν βλέπουμε ότι έχουμε RX Level μεταξύ κόμβου και AP ικανό (RX Level > -80 dBm) και έχουμε αρκετά χαμένα πακέτα αποστολής, τότε αυτό σημαίνει ότι έχουμε συγκρούσεις μεταξύ «κρυμμένων» κόμβων. Σε αυτήν την περίπτωση ελαττώνεται η

τιμή της παραμέτρου RTS Threshold μέχρι να σταματήσει η απώλεια πακέτων αποστολής. Βέβαια αυτό συνεπάγεται ότι σε κάθε κόμβο ή AP χρειάζεται να υπάρχει ένας μηχανισμός παρακολούθησης (monitoring) για να καταγράφονται, ορισμένοι δείκτες απόδοσης, καθώς και μια μονάδα που θα παίρνει απόφασης για το ποιες παραμέτρους θα ρυθμίζονται δυναμικά.

26.4 Πλεονεκτήματα

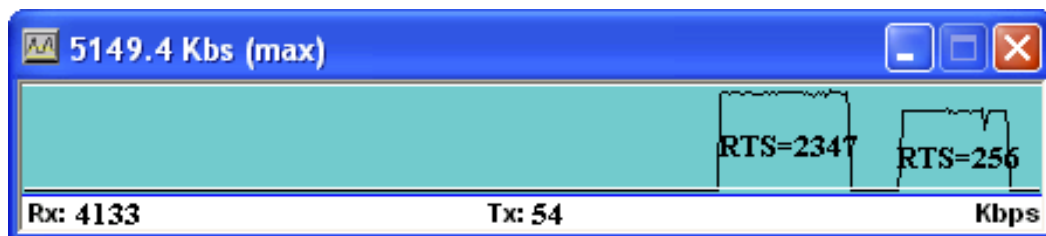
Με αυτήν την δυναμική μέθοδο επιτυγχάνουμε την μέγιστη δυνατή αξιοποίηση των πόρων ενός WLAN δικτύου. Δηλαδή χρησιμοποιούμε τον μηχανισμό RTS/CTS μόνο και όταν χρειάζεται.

26.5 Πειραματικά αποτελέσματα

26.5.1 Μετρήσεις σε εργαστηριακό περιβάλλον

Στο παρακάτω απλό πείραμα μετράμε την απόδοση ενός IEEE 802.11b δικτύου σε Infrastructure που αποτελείται από 1 AP και 1 client, με χρήση ή όχι του μηχανισμού RTS/CTS. Φυσικά όπως είναι κατανοητό σε ένα τέτοιο δίκτυο η λειτουργία του μηχανισμού RTS/CTS είναι εντελώς ανώφελη. Αλλά με αυτή την δόκιμη προσπαθούμε να μετρήσουμε την μέγιστη επιβάρυνση του μηχανισμού σε ένα δίκτυο IEEE 802.11b όταν δεν έχουμε συνθήκες που δημιουργούν συγκρούσεις.

Ο client ξεκινάει ένα ftp session με ένα τοπικό ftp server, για μέγιστη αξιοπιστία αποτελεσμάτων. Αρχικά η τιμή του RTS threshold είναι 2347 Byte. Δηλαδή πλήρως απενεργοποιημένος ο μηχανισμός RTS/CTS. Το throughput είναι 5149 kbps, όπως φαίνεται από το Σχήμα 26-10



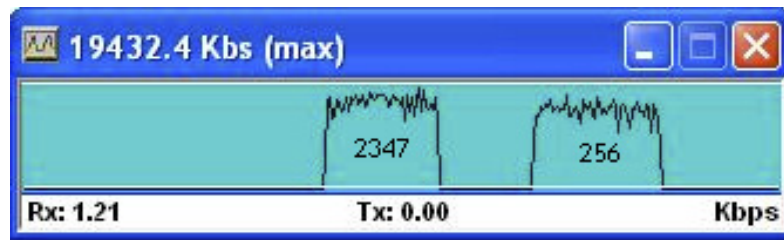
Σχήμα 26-10: Μέτρηση throughput με απενεργοποιημένο και ενεργοποιημένο RTS/CTS

Αλλάζοντας την παράμετρο RTS threshold σε 256 byte η μέτρηση του throughput είναι 4133 kbps. Δηλαδή συμπεραίνουμε ότι το maximum overhead του μηχανισμού είναι 24 %. Βέβαια όπως αναφέρουμε αυτή είναι η μέγιστη επιβάρυνση που μπορεί να επιτευχθεί σε ένα δίκτυο IEEE 802.11b.

Επιπλέον παραθέτουμε και μετρήσεις για την επίδραση του RTS σε ένα IEEE 802.11g δίκτυο. Τονίζουμε ότι οι συνθήκες του πειράματος είναι ακριβώς ίδιες με του παραπάνω σεναρίου, καθώς επίσης το δίκτυο λειτουργούσε σε pure 802.11g mode.

Παρατηρούμε από το παρακάτω Σχήμα 26-10, ότι το αρχικό throughput με RTS threshold = 2347 byte ήταν 19500 kbps, ενώ με RTS threshold = 256 byte το throughput ήταν 15150 kbps. Δηλαδή παρατηρούμε μια επιβάρυνση 23 %. Αν το δίκτυο λειτουργούσε σε mix mode

802.11b/g τότε η επιβάρυνση θα ήταν σημαντικά μεγαλύτερη διότι τα flags RTS μεταδίδονται πάντα σε βασικούς ρυθμούς του 802.11b που είναι 1 ή 2 Mbps.



Σχήμα 26-11: Μέτρηση throughput με απενεργοποιημένο και ενεργοποιημένο RTS/CTS σε dedicated 802.11g

Επίσης από θεωρητική μελέτη έχουμε την επιβεβαίωση για το ποσοστό της επιβάρυνσης από την εκπομπή των RTS/CTS.

Συγκεκριμένα όταν ο μηχανισμός RTS/CTS είναι απενεργοποιημένος:

$$T_{without_RTS/CTS} = T_B + \frac{DATA}{R} + SIFS + \frac{ACK}{R_{basic}}$$

ενώ ότι είναι ενεργοποιημένος:

$$T_{RTS/CTS} = T_B + \frac{RTS}{R_{basic}} + SIFS + \frac{CTS}{R_{basic}} + \frac{DATA}{R} + SIFS + \frac{ACK}{R_{basic}}$$

26.5.2 Μετρήσεις σε πραγματικό δίκτυο

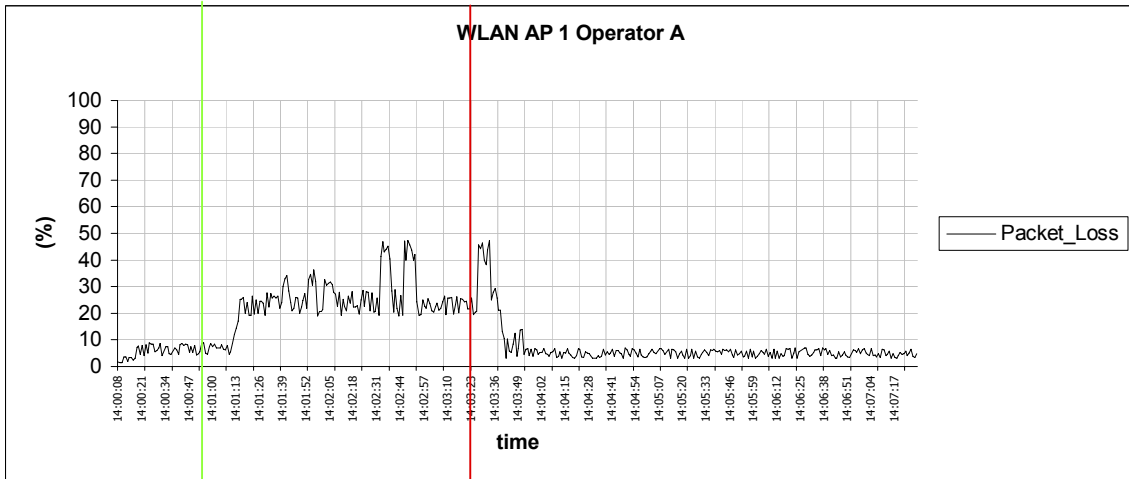
Οι παρακάτω μετρήσεις έχουν γίνει στο δίκτυο Wonderland που σχεδιάστηκε από τον γραφόν στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος και κάλυπτε μεγάλο μέρος του campus του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Η τοπολογία του σεναρίου φαίνεται στο Σχήμα 26-12. Έτσι έχουμε δυο χρηστές (μαύρες κουκκίδες) που χρησιμοποιούν το δίκτυο για ftp session στο μέγιστο δυνατό throughput από ένα τοπικό ftp server. Οι χρήστες βρίσκονται πολύ μακριά ο ένας από τον άλλο, έτσι ώστε δεν ακούγεται ο ένας με τον άλλο. Έτσι έχουμε δημιουργήσει ένα κλασσικό σενάριο Κρυμμένου κόμβου. Παρακάτω παραθέτω τα αποτελέσματά για τους δείκτες απόδοσης packet loss, mean throughput, delay.



Σχήμα 26-12 : Σενάριο για την επίδειξη λειτουργίας RTS/CTS

26.5.2.1 Αποτελέσματα

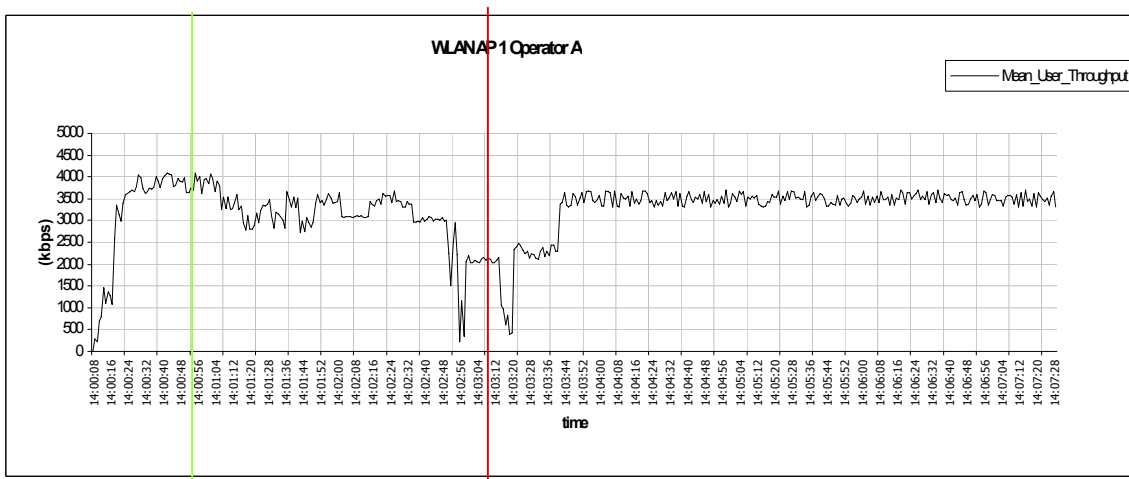
Αρχικά έχουμε 1 χρήστη με ftp session στο AP1 και αργότερα και το δεύτερο χρήστη με ομοίως το ίδιο ftp session. Το πείραμα ξεκίνησε στις 14:00:08 και έως τις 14:07:29 το σύστημα έκανε Monitoring τους δείκτες απόδοσης. Στις 14:01:36 έχουμε alarm λόγω αυξημένου packet loss στο APs 1 που είναι 19.7% Διαγράμματα 26-1 έως 26-5.



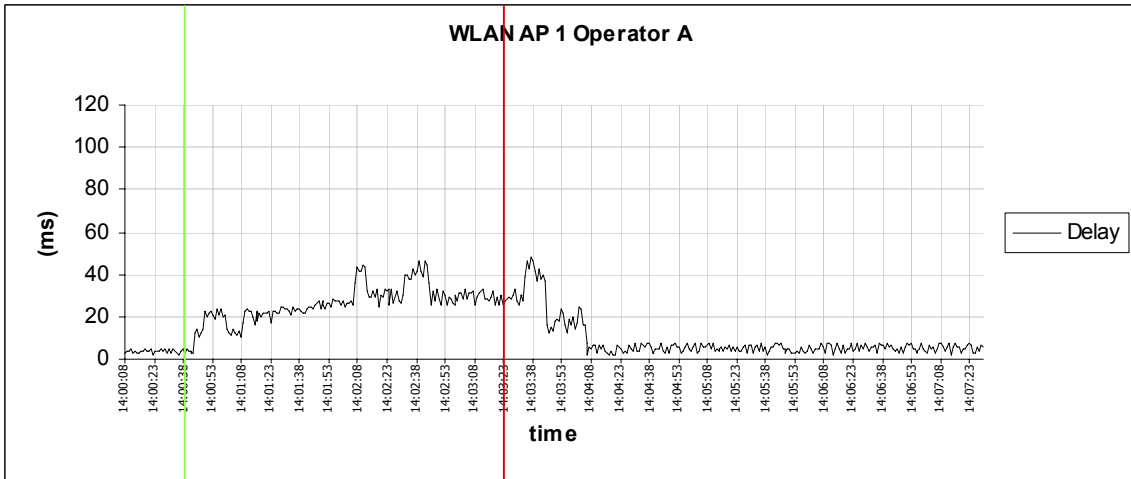
Διάγραμμα 26-1: packet loss AP1

Στο παρακάτω Διαγράμματα 26-2, 26-3, 26-4 βλέπουμε το mean throughput, delay και Jitter του εν λόγω AP.

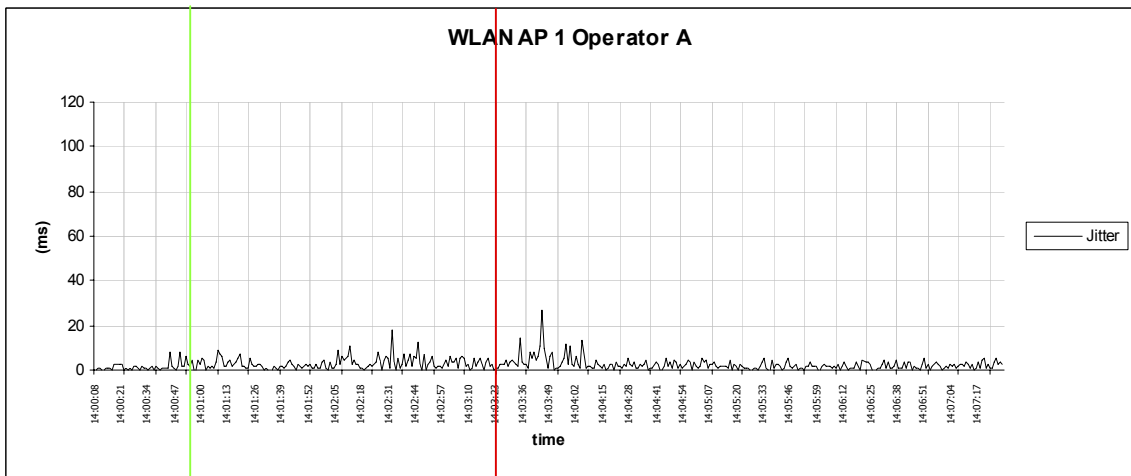
Στα σχήματα μπορούμε να δούμε με πράσινη γραμμή την στιγμή που ξεκίνησε το ftp session ο δεύτερος χρήστης και με κόκκινη γραμμή την χρονική στιγμή που έγινε η ενεργοποίηση του μηχανισμού με κατάλληλη τιμή στην παράμετρο RTS Threshold.



Διάγραμμα 26-2 : Mean throughput



Διάγραμμα 26-3 : Delay



Διάγραμμα 26-4 : Jitter

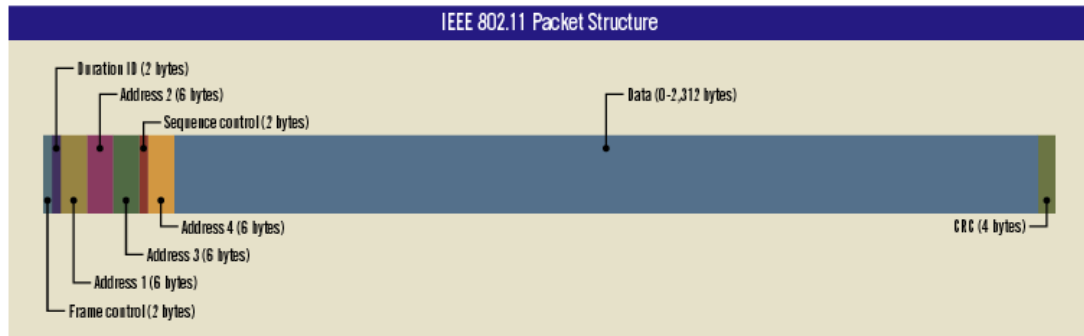
26.6 Συμπεράσματα

Από τα Διάγραμμα 26-3 μπορούμε να δούμε ότι το delay μειώθηκε στα 10 ms από τα 65 ms. Αυτή η βελτίωση είναι σημαντική ειδικά όταν χρησιμοποιούμε υπηρεσίες και εφαρμογές που είναι ευαίσθητες στο delay, όπως VoIP, telnet, remote desktop κλπ. Επίσης είναι αξιοσημείωτη η βελτίωση του packet loss από 75% σε 10 %.

27 Δυναμική τροποποίηση του Fragmentation Threshold

27.1 Εισαγωγή

Τα πλαίσια του IEEE 802.11 όπως γνωρίζουμε μπορούν να έχουν διάφορα μήκη Σχήμα 27-1. Δηλαδή μπορούμε να έχουμε frame από 34 byte έως και 2346 byte.

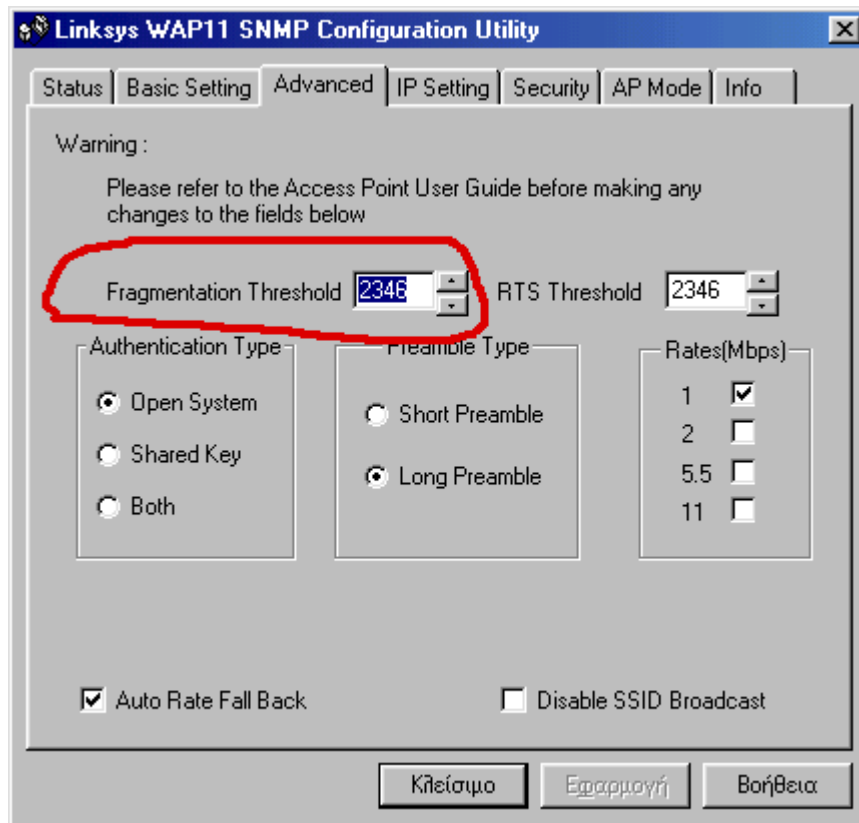


Σχήμα 27-1: Δομή πλαισίου IEEE 802.11

Σε συνθήκες πολύ ισχυρών RX Level (> -70 dBm) μεταξύ πελατών και AP και γενικά σε δίκτυα που δεν υπάρχουν παρεμβολές, η Αποστολή μεγάλων πλαισίων βελτιστοποιεί την απόδοση του δικτύου. Αντιθέτως σε περιπτώσεις όπου έχουμε οριακά RX Level < -80 dBm ή αρκετές παρεμβολές, η αποστολή μικρών πλαισίων είναι πιο αποδοτική, διότι έχουμε αυξημένο αριθμό πλαισίων που επανεκπέμπονται. Όπως είναι φυσικό η επανεκπομπή μικρών πλαισίων είναι πιο αποδοτική.

27.2 Περιγραφή της τεχνικής

Στα δίκτυα IEEE 802.11 υπάρχει ένας μηχανισμός κατάτμησης των κανονικών πλαισίων σε μικρότερα. Με αυτό το μηχανισμό αποφεύγεται η επανεκπομπή μεγάλων πλαισίων σε περίπτωση απώλειας του λόγω π.χ παρεμβολών. Έτσι με την εκπομπή μικρότερων πλαισίων σε δίκτυα με χαμηλό RX Level ή παρεμβολές έχει ως αποτέλεσμα είτε να έχουμε μικρότερο αριθμό χαμένων πλαισίων (ένα πλαίσιο μικρού μεγέθους έχει χαμηλότερη πιθανότητα να χαθεί από ένα μεγαλύτερο), είτε επανεκπομπή (λόγω απώλειας) μικρότερων πλαισίων. Ομοίως με τον μηχανισμό RTS/CTS, για το μηχανισμό κατάτμησης (fragmentation) πλαισίων υπάρχει μια παράμετρος Fragmentation Threshold, η οποία παίρνει τιμές από 256 έως 2346 byte. Στο Σχήμα 27-2 μπορούμε να δούμε το γραφικό περιβάλλον και την ρύθμιση του fragmentation threshold, από ένα πρόγραμμα διαχείρισης AP.



Σχήμα 27-2: Fragmentation Threshold

Αυτή η παράμετρος ελέγχεται και καθορίζεται από τον χρήστη στατικά. Έτσι αν το μέγεθος του πλαισίου είναι μεγαλύτερο από το fragmentation threshold, τότε ο μηχανισμός “σπάει” τα πλαίσια, σε μικρότερα υπό-πλαίσια με μέγεθος ίσο ή μικρότερο από την τιμή του fragmentation threshold.

Η χρήση του εν λόγω μηχανισμού αυξάνει την αξιοπιστία στην μετάδοση των πλαισίων. Επίσης λόγω του μικρότερου μεγέθους πλαισίων, ελαττώνεται και η πιθανότητα συγκρούσεων στο ασύρματο μέσο.

Είναι αυτονόητο ότι η μετάδοση μικρών πλαισίων, ειδικά όταν έχουμε δίκτυα με πολύ καλή ποιότητα σήματος, είναι μη αποδοτική, λόγω του overhead που εισάγεται σε κάθε υπό-πλαίσιο.

Η δυναμική τροποποίηση του fragmentation threshold, εισάγει το πλεονέκτημα της ενεργοποίησης του μηχανισμού όταν αυτός χρειάζεται, χωρίς την εισαγωγή overhead στο δίκτυο Όπως και με το RTS/CTS χρειαζόμαστε ένα μηχανισμό monitoring του συστήματος και ένα μηχανισμό αποφάσεων. Στην προκειμένη περίπτωση εάν έχουμε χαμηλό RX Level < -80 dBm και μεγάλο αριθμό απολεσθέντων πακέτων, τότε μεταβάλλουμε δυναμικά το fragmentation threshold έως ότου σταματήσει ή ελαττωθεί η απώλεια πακέτων.

27.3 Πλεονεκτήματα

Με αυτήν την δυναμική μέθοδο επιτυγχάνουμε την μέγιστη δυνατή αξιοποίηση των πόρων ενός WLAN δικτύου. Δηλαδή χρησιμοποιούμε τον μηχανισμό fragmentation μόνο και όταν χρειάζεται. Έτσι ελαττώνουμε στο μέγιστο το overhead που εισάγουν η μετάδοση υποπλαισίων.

27.4 Μειονεκτήματα

Θα πρέπει να αποφεύγεται η χρήση πολύ μικρών τιμών, διότι αυτό ενδέχεται να δημιουργήσει προβλήματα ασυμβατότητας μεταξύ εξοπλισμών από διαφορετικό κατασκευαστή.

27.5 Πειραματικά αποτελέσματα και Μετρήσεις σε εργαστηριακό περιβάλλον

Στο παρακάτω απλό πείραμα μετράμε την απόδοση ενός IEEE 802.11b δικτύου σε Infrastructure που αποτελείται από 1 AP και 1 client, με χρήση του μηχανισμού fragmentation για δυο ακραίες τιμές. Το RX Level κατά την διάρκεια του πειράματος ήταν -50 dBm και με SNR 43 dB. Δηλαδή συνθήκες που αποκλείουν να έχουμε απώλεια πακέτων. Αυτό συνεπάγεται ότι σε ένα τέτοιο δίκτυο η λειτουργία του μηχανισμού είναι εντελώς ανώφελη. Αλλά με αυτή την δόκιμη προσπαθούμε να μετρήσουμε την μέγιστη επιβάρυνση του μηχανισμού σε ένα δίκτυο IEEE 802.11b όταν δεν έχουμε συνθήκες που δημιουργούν απώλεια πακέτων.

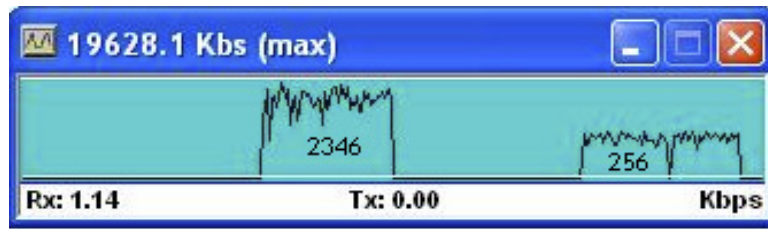
Ο client ξεκινάει ένα ftp session με ένα τοπικό ftp server, για μέγιστη αξιοπιστία αποτελεσμάτων. Αρχικά η τιμή του fragmentation threshold είναι 2346 Byte. Δηλαδή πλήρως απενεργοποιημένος ο μηχανισμός fragmentation. Το throughput είναι 4049 kbps, όπως φαίνεται από το Σχήμα 27-3



Σχήμα 27-3: Μέτρηση throughput με δυο διαφορετικές τιμές στο fragmentation threshold

Αλλάζοντας την παράμετρο fragmentation threshold σε 256 byte η μέτρηση του throughput είναι 2540 kbps. Δηλαδή συμπεραίνουμε ότι το maximum overhead του μηχανισμού είναι 41 %. Βέβαια όπως αναφέρουμε αυτή είναι η μέγιστη επιβάρυνση που μπορεί να επιτευχθεί σε ένα δίκτυο IEEE 802.11b.

Επίσης παραθέτουμε μετρήσεις Σχήμα 27-4 του throughput για το μέγιστο overhead του fragmentation σε ένα δίκτυο IEEE 802.11g.



Σχήμα 27-4: Μέτρηση throughput με δυο διαφορετικές τιμές στο fragmentation threshold σε IEEE 802.11g

Όπως παρατηρούμε αρχικά με την τιμή 2346 byte στο fragmentation threshold το throughput ήταν 19620 kbps. Μετά την αλλαγή του fragmentation threshold σε 256 byte το throughput ήταν 8120 kbps. Δηλαδή μείωση κοντά στο 50 %.

27.6 Μετρήσεις σε πραγματικό δίκτυο

Οι παρακάτω μετρήσεις έχουν γίνει στο δίκτυο WonderLand. Η τοπολογία του σεναρίου φαίνεται στο Σχήμα 27-5. Δηλαδή έχουμε δυο χρηστές (μαύρες κουκκίδες) που χρησιμοποιούν το δίκτυο για ftp session στο μέγιστο δυνατό throughput από ένα τοπικό ftp server. Οι χρήστες εξυπηρετούνται από δυο διαφορετικά AP τα οποία εκπέμπουν στο ίδιο κανάλι. Όπως βλέπουμε οι δυο χρήστες βρίσκονται αρκετά κοντά, καθώς επίσης οι περιοχές κυριαρχίας (dominant AP areas) και κάλυψης των δυο AP που χρησιμοποιούν ίδιο κανάλι είναι πολύ κοντά. Αυτό έγινε σκόπιμα (και όχι από σχεδιαστικό λάθος στο radio planning του δικτύου) για τις ανάγκες αυτού του σεναρίου. Έτσι έχουμε επιτύχει να έχουμε ομοδιαυλικές (co-channel interference) παρεμβολές σε συνδυασμό με συνθήκες χαμηλού RX Level σε κάθε χρήστη από το AP από το οποίο εξυπηρετείτε. Δηλαδή έχουμε δημιουργήσει ένα σενάριο με χαμηλό RX Level και SNR. Σε τέτοιες συνθήκες αναμένεται να έχουμε πολύ μεγάλο αριθμό χαμένων πακέτων.

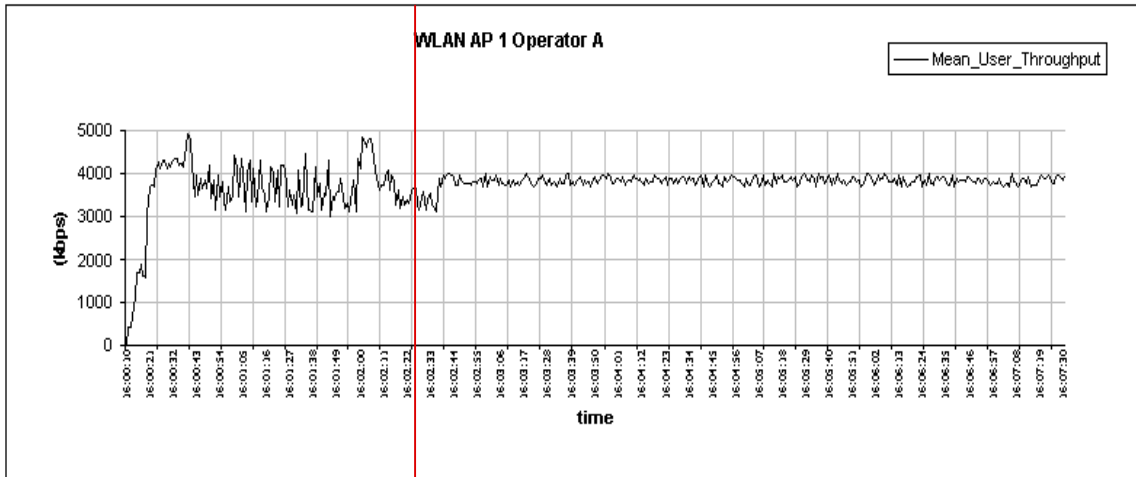


Σχήμα 27-5 : Σενάριο για την επίδειξη του δυναμικού μηχανισμού fragmentation

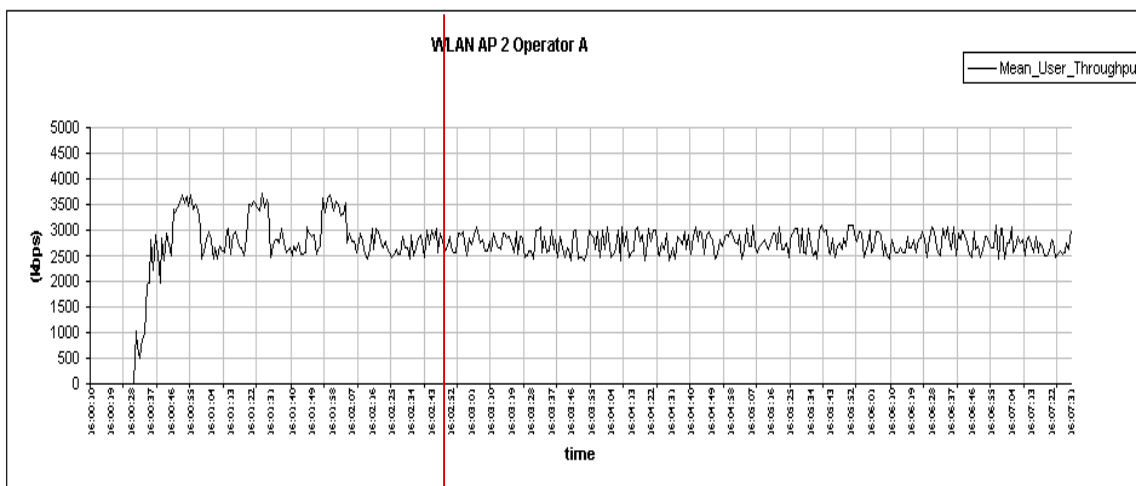
27.6.1 Αποτελέσματα

Έχουμε 2 χρήστες με ftp session στο AP1 και AP2. Το πείραμα ξεκίνησε στις 16:00:10 και έως τις 16:07:30 το σύστημα έκανε Monitoring τους δείκτες απόδοσης.

Στα παρακάτω Διαγράμματα 27-1 και 27-2 βλέπουμε το mean user throughput για κάθε AP.

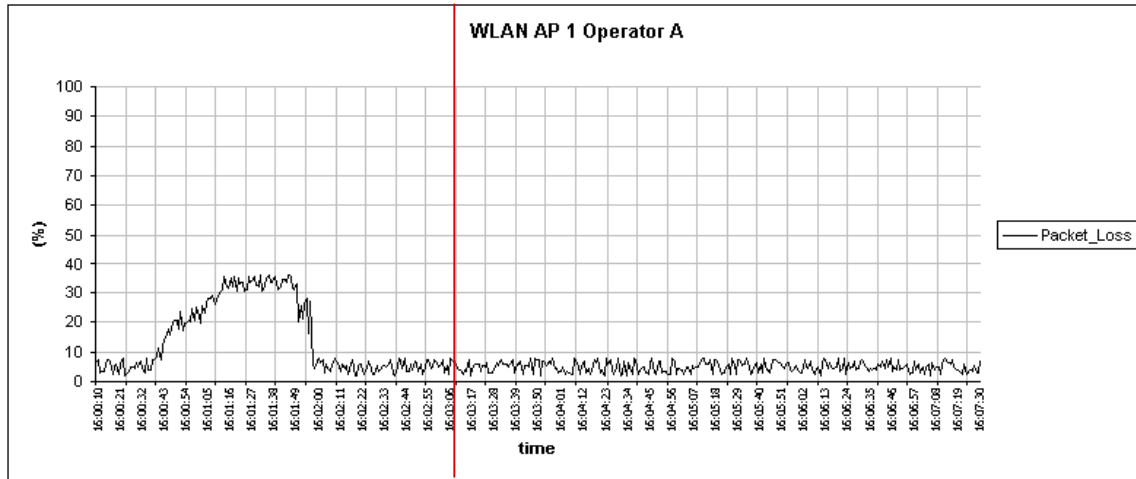


Διάγραμμα 27-1: Mean User Throughput στο AP1

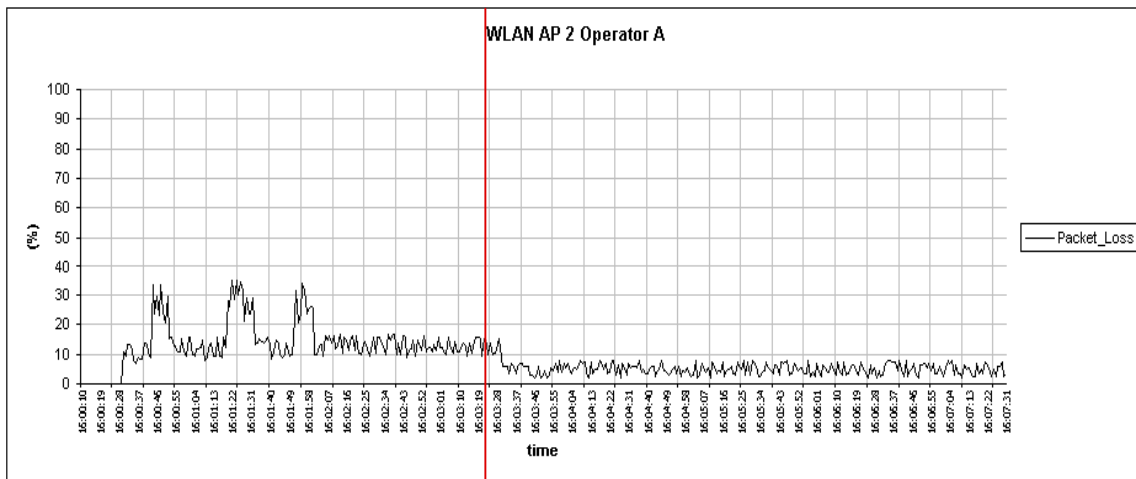


Διάγραμμα 27-2: Mean User Throughput στο AP2

Παρατηρούμε, ότι μέχρι τις 16:02:07 από την ώρα που ξεκίνησε το πείραμα το throughput και στα δυο AP έχει μεγάλες διακυμάνσεις, που είναι ένδειξη ότι και στα δυο δίκτυα έχουμε σημαντικό αριθμό χαμένων πακέτων. Αυτό επαληθεύεται από τα παρακάτω Διαγράμματα 27-3 και 27-4 που δείχνουν το ποσοστό χαμένων πακέτων ανά AP.

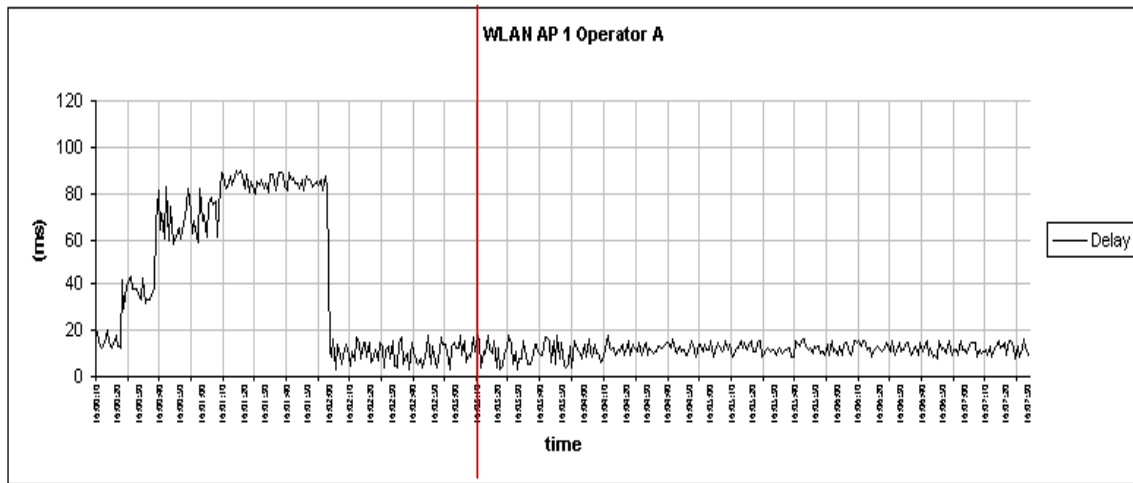


Διάγραμμα 27-3: Ποσοστό Packet loss στο AP1

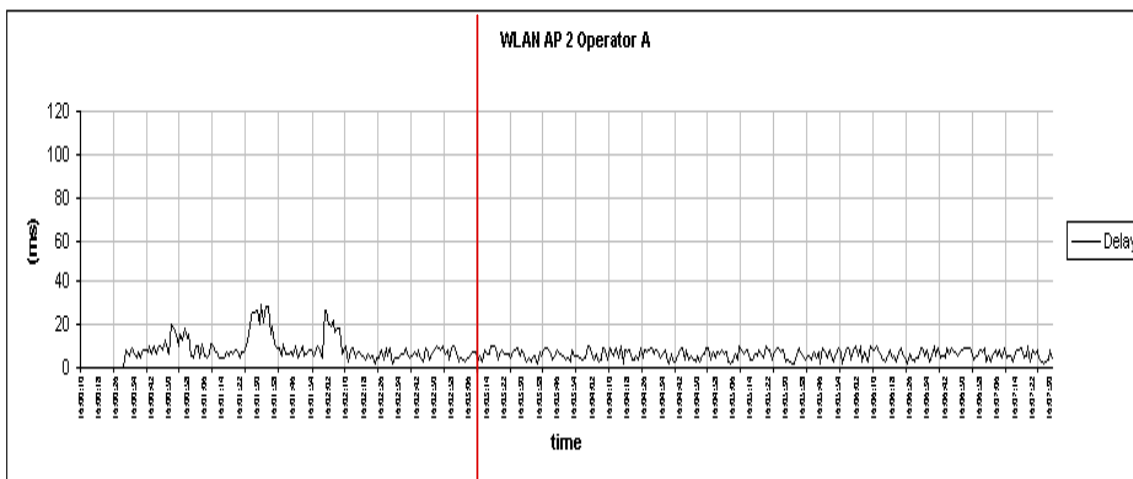


Διάγραμμα 27-4: Ποσοστό Packet loss στο AP2

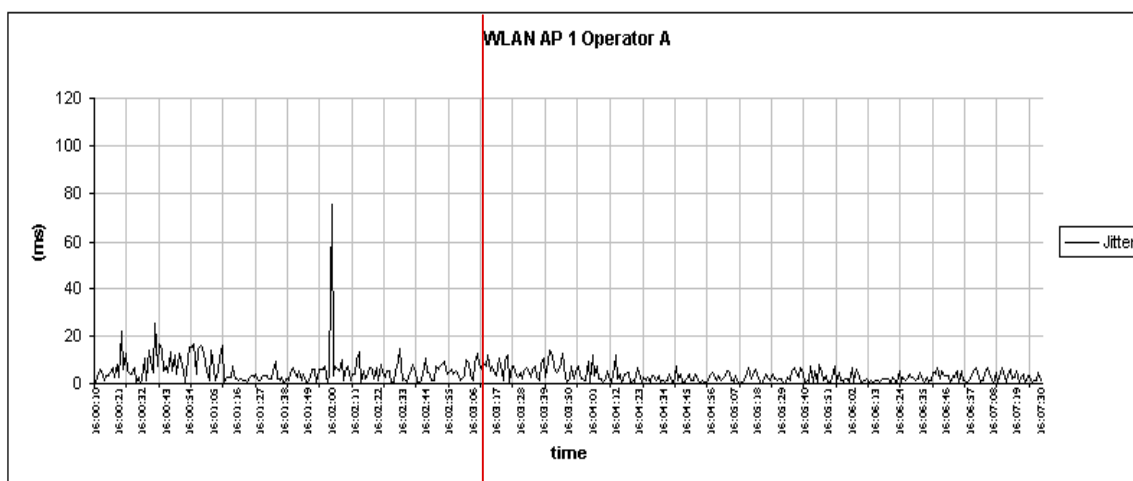
Επίσης στα παρακάτω Διαγράμματα 27-5, 27-6, 27-7 και 27-8 φαίνονται και οι τιμές που είχαν οι δείκτες delay και jitter.



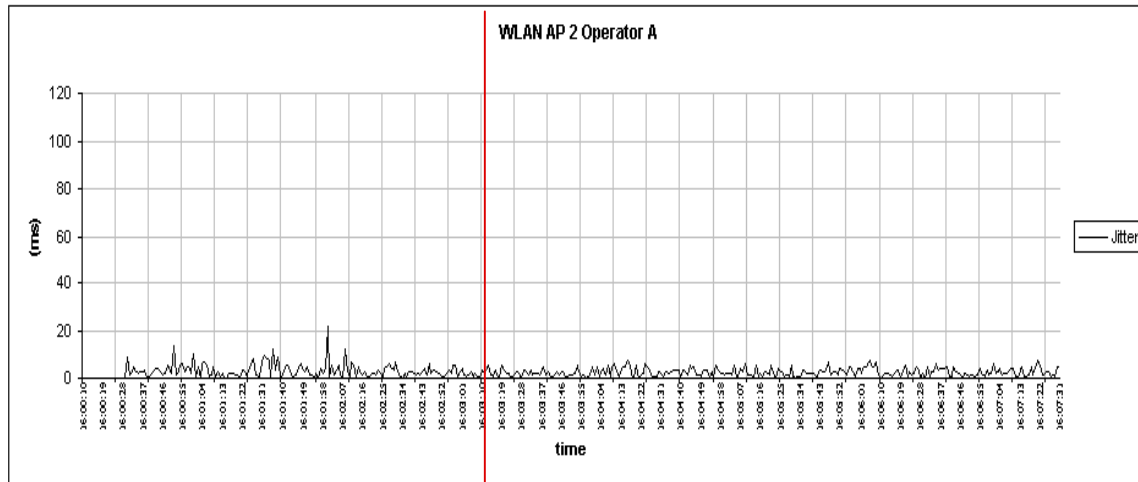
Διάγραμμα 27-5: Delay σε ms στο AP1



Διάγραμμα 27-6: Delay σε ms στο AP2



Διάγραμμα 27-7: Jitter σε ms στο AP1



Διάγραμμα 27-8: Jitter σε ms στο AP2

Με κόκκινη γραμμή επισημαίνουμε την χρονική στιγμή που ενεργοποιήθηκε ο δυναμικός μηχανισμός του fragmentation threshold, έπειτα από ανίχνευση σημαντικού ποσοστού χαμένων πακέτων 40% και 30% αντίστοιχα για τα AP1 και AP2. Παρατηρούμε ότι μετά την ενεργοποίηση της τεχνικής έχουμε σημαντική μείωση της απώλειας πακέτων. Έτσι από 40% packet loss έχουμε επιτύχει τελικό packet loss 5 %. Επίσης παρατηρούμε ότι το throughput και στα δυο APs έχει σταθεροποιηθεί. Τέλος είναι πολύ σημαντικό να τονίσουμε ότι βλέπουμε σημαντική μείωση του delay, ειδικά στο AP2, από 80 ms σε 5 ms.

Το τελικό συμπέρασμα είναι ότι σε ένα δίκτυο με συνθήκες που ευνοούν την απώλεια πακέτων έχουμε πολύ μεγάλο delay λόγω της επανεκπομπής μεγάλων πακέτων. Τέτοιες δικτυακές συνθήκες, όπως 40 % packet loss και 80 ms delay καθιστά αδύνατη την εξυπηρέτηση κάποιων IP υπηρεσιών, όπως είναι το VoIP. Όμως με την δυναμική ενεργοποίηση του παραπάνω μηχανισμού και την κατάλληλη επιλογή της τιμής fragmentation threshold, επιτυγχάνουμε να ελαχιστοποιήσουμε την απώλεια QoS από το δίκτυο. Η βέλτιστη τιμή της παραμέτρου fragmentation threshold είναι η μέγιστη τιμή που θα καταφέρει να έχει packet loss < 10 % και delay < 10 ms. Στην προκειμένη περίπτωση το optimum fragmentation threshold και για τα δυο AP είναι 576 byte.

28 Dynamic Forced AP Reselection

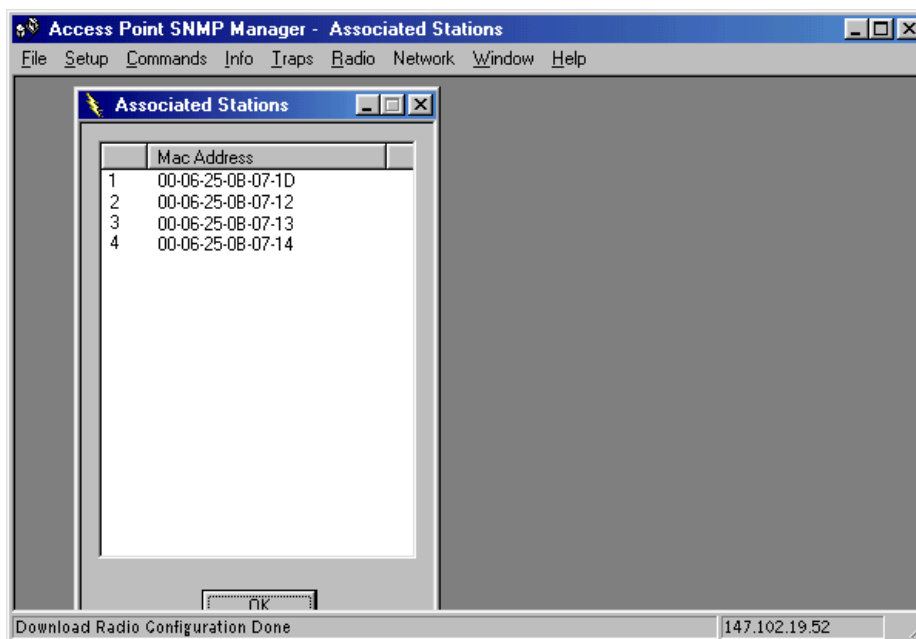
28.1 Εφαρμογή της μεθόδου δυναμικής επιλογής AP με χρήση του μηχανισμού MAC Filtering

Όπως γνωρίζουμε η επιλογή του ασύρματου σημείου πρόσβασης AP, από την ασύρματη διαπαφή ενός χρήστη βασίζεται σε κριτήρια σύγκρισης των ληφθέντων σημάτων από τα APs του δικτύου. Έτσι κάθε κάρτα λαμβάνει τα εκπεμπόμενα radio beacons (που περιέχουν το SSID του δικτύου αλλά και το id του AP) συγκρίνει τα μεγέθη της λαμβανόμενης ισχύος και επιλέγει το ισχυρότερο, με το αλγόριθμο που περιγράψαμε στο παραπάνω κεφάλαιο.

Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιάσουμε μια μέθοδο που είναι παραπλήσια με την μέθοδο, δυναμικής μεταβολής της ισχύος εκπομπής ενός WLAN σταθμού βάσης αφού και αυτή έχει ως στόχο την ομοιόμορφη κατανομή χρηστών στο δίκτυο.

28.2 Περιγραφή του μηχανισμού καθοδηγούμενης επιλογής AP

Κύριος σκοπός αυτής της τεχνικής είναι, ο έλεγχος του αριθμού των χρηστών ανά AP μέσα στο δίκτυο. Για να επιτευχθεί αυτό χρησιμοποιούμε ένα μηχανισμό που υπάρχει στα IEEE 802.11 δίκτυα, που λέγεται MAC filtering. Ο μηχανισμός φιλτραρίσματος των φυσικών διευθύνσεων των ασύρματων διαπαφών που εξυπηρετούνται από ένα δίκτυο, είναι ένας μηχανισμός ασφαλείας που υιοθετήθηκε από το πρωτόκολλο έτσι ώστε να μην κλειδώνουν στο AP μη εξουσιοδοτημένοι χρήστες. Σε αυτήν την τεχνική χρησιμοποιούμε αυτόν τον μηχανισμό, έτσι ώστε να επιτύχουμε να προτρέπουμε δυναμικά κάποιους χρήστες να κλειδώνουν σε άλλα APs, από το κυρίαρχο στην περιοχή του. Αυτό όπως είναι κατανοητό το κάνουμε όταν, σε ένα AP υπάρχει μεγάλος αριθμός χρηστών ενώ, στα γειτονικά AP δεν υπάρχουν χρήστες. Στο παρακάτω Σχήμα 28-1 παραθέτουμε ένα screenshot από το λογισμικό διαχείρισης ενός AP. Βλέπουμε τον πίνακα με τις φυσικές διευθύνσεις των ασύρματων χρηστών, που εξυπηρετούνται από το AP Σχήμα 28-1.



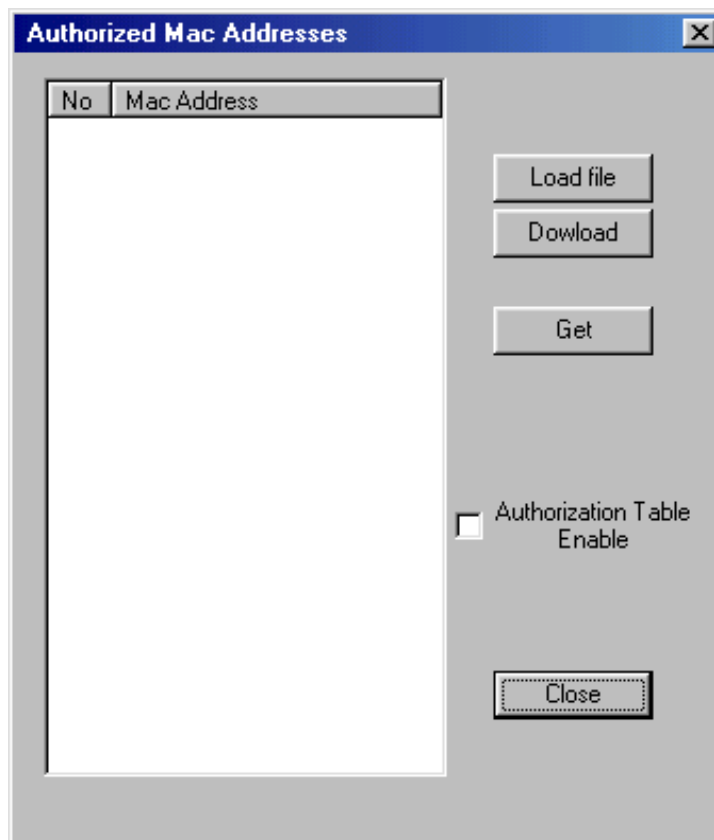
Σχήμα 28-1: MAC addresses των χρηστών στο AP

28.3 Επηρεασμός των στοιχείων του δικτύου

Αυτή η μέθοδος δεν έχει κάποιο σοβαρό επηρεασμό με άλλα στοιχεία του δικτύου. Η μοναδική προϋπόθεση για την επιτυχή εφαρμογή της μεθόδου, είναι η επαρκής αλληλοεπικάλυψη των περιοχών εμβέλειας των AP.

28.4 Παράμετροι

Η τεχνική αυτή έχει ως παράμετρο των παρακάτω πίνακα, στον οποίο εγγράφονται οι φυσικές διευθύνσεις των ασύρματων διεπαφών των χρηστών, στους οποίους επιτρέπεται η πρόσβαση στο δίκτυο. Όπως ακούμε αναφέρει και στις προηγούμενες τεχνικές η δυναμική χρήση όλων των τεχνικών προϋποθέτει ένα μηχανισμό επιτήρησης monitoring και αυτόματης εφαρμογής των τεχνικών από το σύστημα διαχείρισης με τις κατάλληλες τιμές. Σε αυτήν την τεχνική θα ήταν βέλτιστο να υπήρχε και ένας μηχανισμός Localization, έτσι ώστε το σύστημα διαχείρισης και λήψης αποφάσεων (resource management unit) σε συνεργασία localization server και με ένα χάρτη GIS των περιοχών κυριαρχίας κάθε AP, να παίρνει τις σωστές αποφάσεις, έτσι ώστε να στέλνει τους χρήστες στο κατάλληλο AP.



Σχήμα 28-2: MAC authentication table

28.5 Εφαρμογή της τεχνικής και παραδείγματα

Για την επίδειξη των αποτελεσμάτων αυτής της τεχνικής, χρησιμοποιούμε σενάρια που υλοποιήθηκαν στο ασύρματο δίκτυο WonderLand. Στο παρακάτω Σχήμα 28-3 βλέπουμε τις περιοχές κυριαρχίας 4 APs. Εμείς για το συγκεκριμένο σενάριο θα επικεντρωθούμε μόνο στο AP με την κόκκινη περιοχή κυριαρχίας. Σε αυτό το AP έχουμε 3 χρήστες που βρίσκονται πολύ κοντά στο AP. Και οι 3 χρήστες έχουν FTP session και κατεβάζουν στην μέγιστη δυνατή ταχύτητα. Επίσης στα γειτονικά AP πράσινη και μπλε περιοχή κυριαρχίας δεν υπάρχουν χρήστες. Επίσης οι περιοχές εμβέλειας των γειτονικών AP επικαλύπτουν σημαντικά την κόκκινη περιοχή κυριαρχίας. Αν εφαρμόσουμε την τεχνική dynamic AP resizing με μεταβολή της ισχύος εκπομπής δεν θα καταφέρουν να κλειδώσουν ορισμένοι χρήστες στα γειτονικά AP έτσι ώστε να μοιράσουμε ομοιόμορφα την κίνηση στα 3 APs. Στο Σχήμα 28-4 μπορούμε να δούμε την περιοχή κυριαρχίας του υπό-συμφόρηση AP με την μικρότερη δυνατή ισχύ εκπομπής 0 dBm. Το σύστημα επίβλεψης τηλεπικοινωνιακής κίνησης αντιλαμβάνεται το πρόβλημα, λόγω του χαμηλού throughput ανά χρήστη και υψηλών τιμών στο delay – jitter. Έτσι η μονάδα του διαχείρισης ράδιο πόρων σε συνεργασία με τον Location Server και το GIS που γνωρίζει εκ των πρότερων, ποιες θα είναι οι νέες περιοχές κυριαρχίας με διάφορες τιμές στην μείωση της ισχύος εκπομπής. Έτσι εφαρμόζεται η τεχνική του Dynamic Forced Reselection βάζοντας της MAC διεύθυνσης των δυο πιο μακρινών χρηστών από το υπό-συμφόρηση AP.



Σχήμα 28-3: Αρχική διάταξη των περιοχών κυριαρχίας



Σχήμα 28-4: Περιοχή κυριαρχίας με 0 dBm

Στο παρακάτω Σχήμα 28-5 μπορούμε να δούμε ότι μετά την εφαρμογή της τεχνικής Dynamic Forced Reselection, δυο από τους 3 χρηστές έχουν κλειδώσει σε δυο γειτονικά AP.



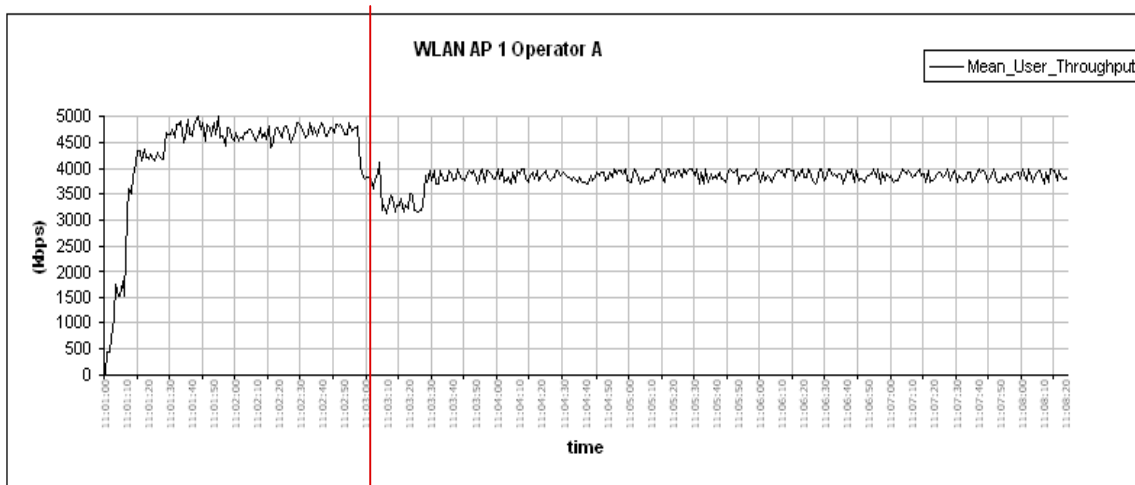
Σχήμα 28-5: Κατάσταση δικτύου μετά την εφαρμογή της τεχνικής

28.5.1 Παρουσίαση μετρήσεων

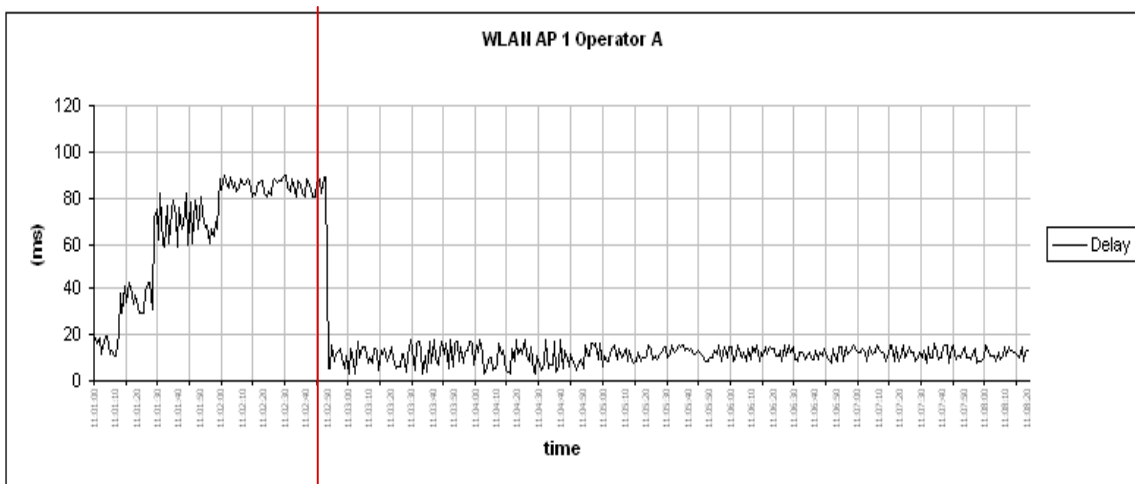
Το πείραμα ξεκίνησε στις 11:01:00 και τελείωσε στις 11:08:17. Όλο αυτό το χρονικό διάστημα η πλατφόρμα διαχείρισης ραδιοπόρων επέβλεπε το σύστημα και την χρονική στιγμή 11:01:58 ανιλήφθηκε το πρόβλημα και στις 11:02:58 εφάρμοσε την τεχνική βάζοντας στο MAC filter του υπό-συμφόρηση AP, τις MAC διευθύνσεις δυο χρηστών αναγκάζοντας τους να κλειδώσουν στα αλλά δυο γειτονικά AP. Έτσι έχουμε επιτύχει να έχουμε από 1 χρήστη σε κάθε AP.

Στα παρακάτω Διαγράμματα 28-1 και 28-2 μπορούμε να δούμε το throughput που διέρχεται από το APs, καθώς και άλλους δείκτες απόδοσης του δικτύου, όπως delay, jitter και packet loss.

Με την κάθετη κόκκινη γραμμή σηματοδοτούμε την χρονική στιγμή όπου εφαρμόζεται η τεχνική.

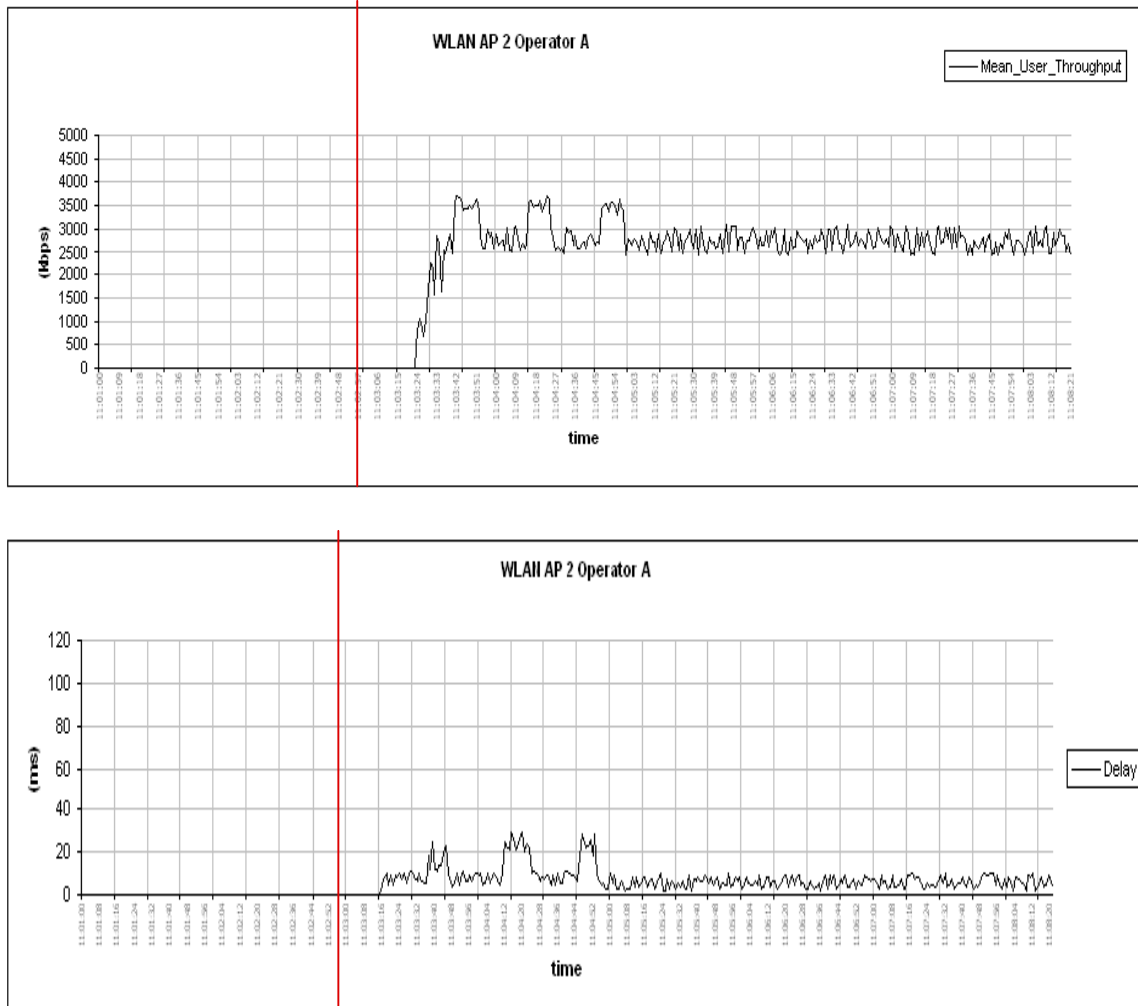


Διαγράμματα 28-1: WLAN AP1 Operator A Mean User Throughput

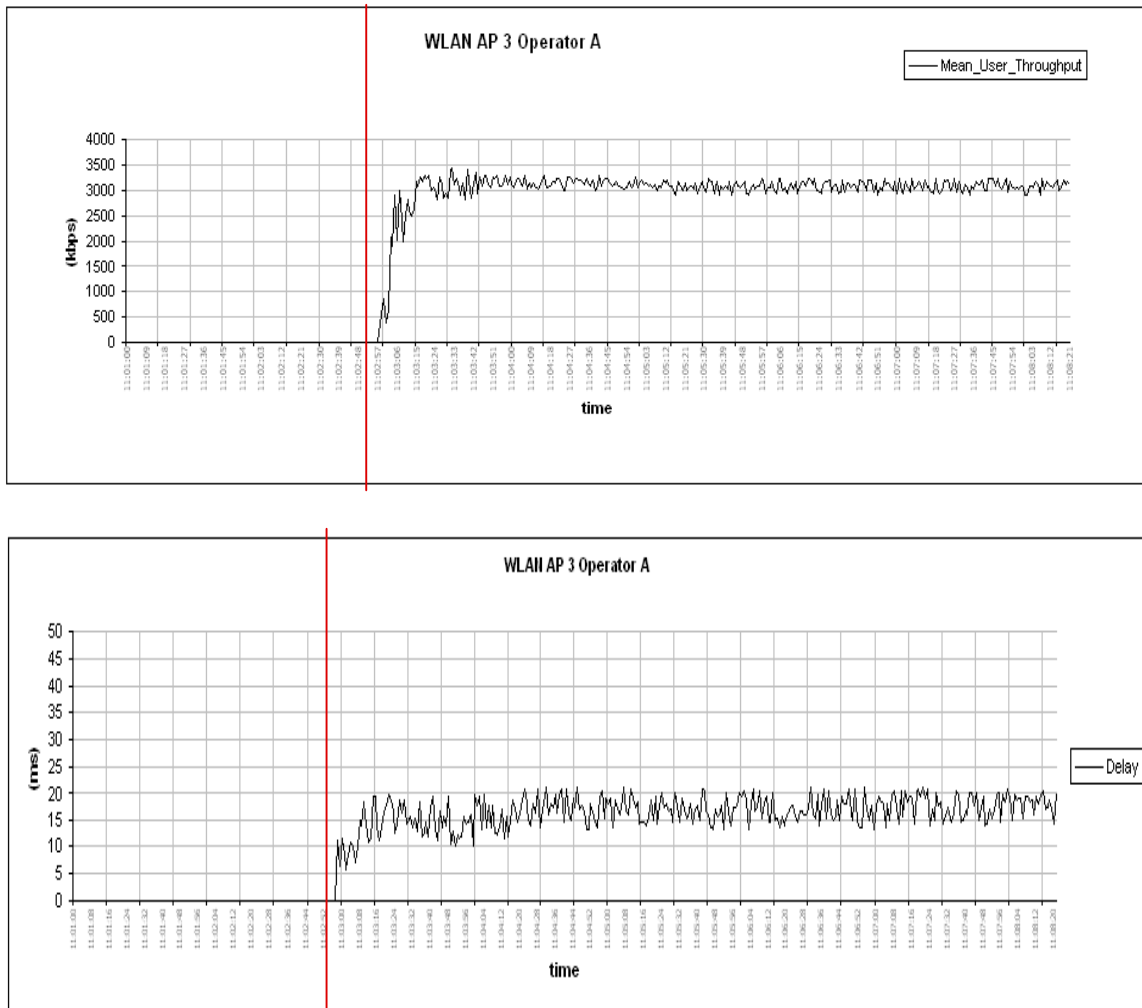


Διάγραμμα 28-2: WLAN AP1 Operator A Delay

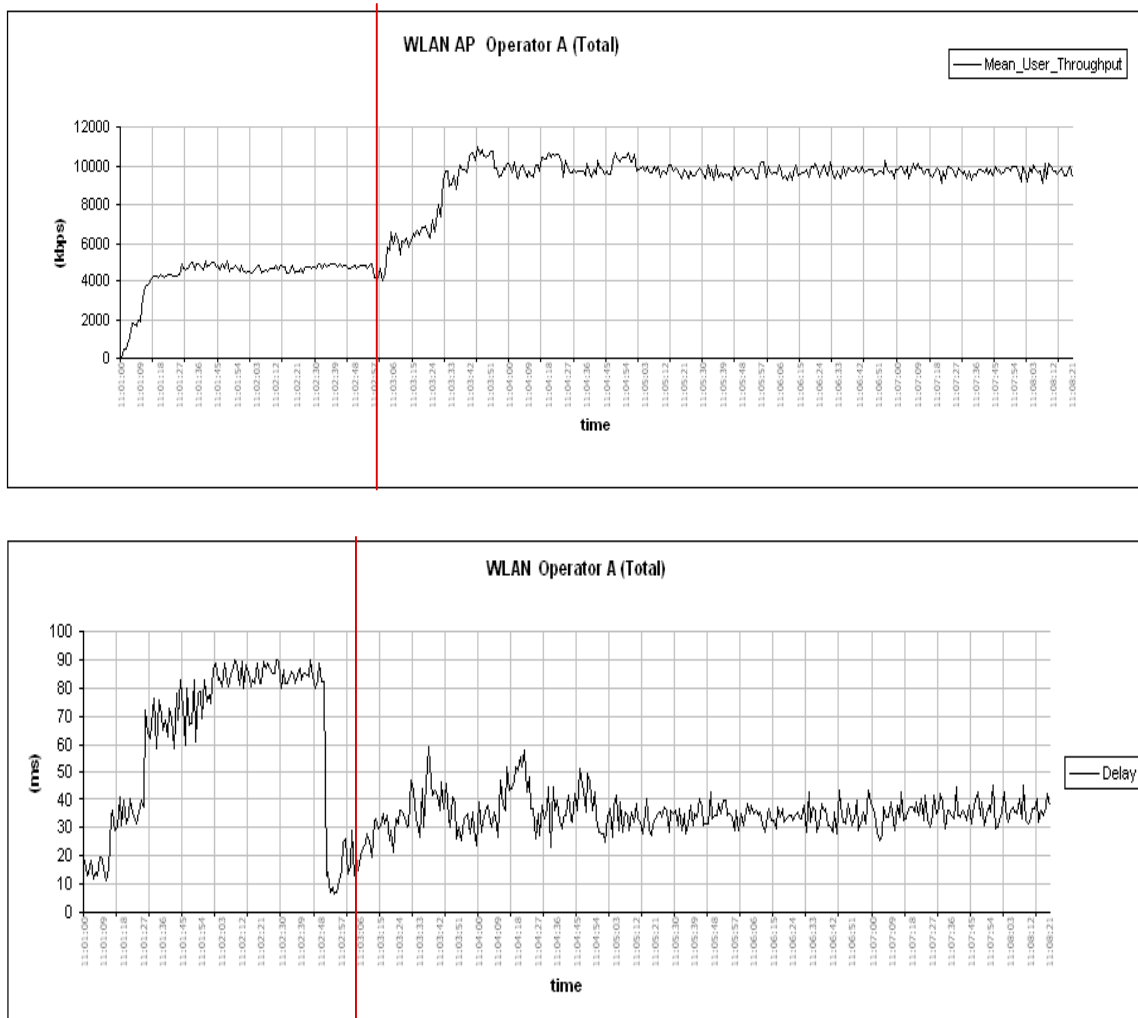
Στο παρακάτω Διάγραμμα 28-3 βλέπουμε την κίνηση των χρηστών στο AP2 και στο AP3. Παρατηρούμε ότι υπάρχει ένα χρονικό διάστημα (γύρω στα 10 sec) στο οποίο και η δυο χρήστες που άλλαξαν AP δεν έχουν throughput. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι κατά την «βίαιη» μεταγωγή υπήρξε απώλεια πακέτων και χρειάζεται ένα εύλογο χρονικό διάστημα έως ότου το πρωτόκολλο μεταφοράς TCP της υπηρεσίας FTP, αποκαταστήσει την σύνδεση.



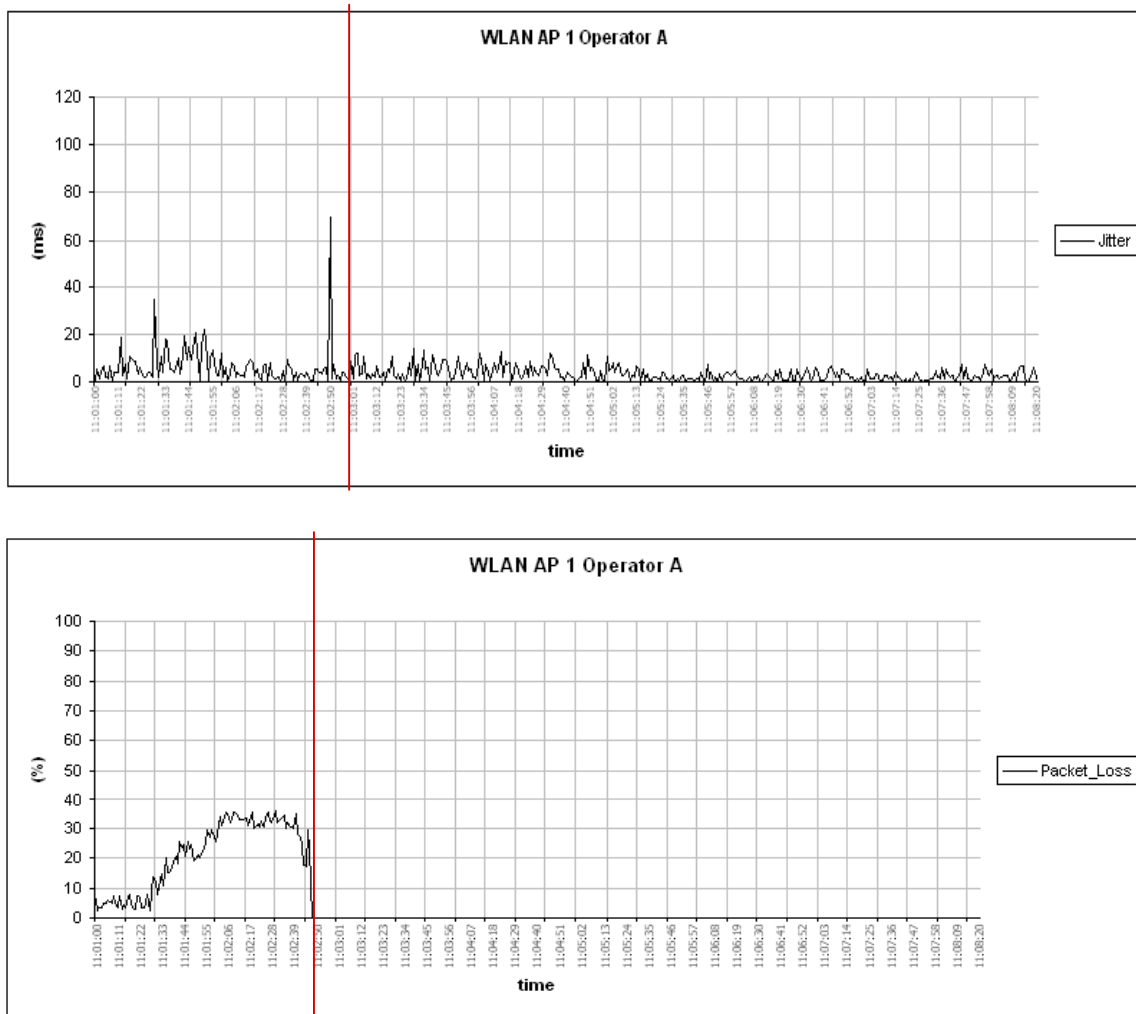
Διάγραμμα 28-3: WLAN AP2 Operator A Mean User Throughput and Delay



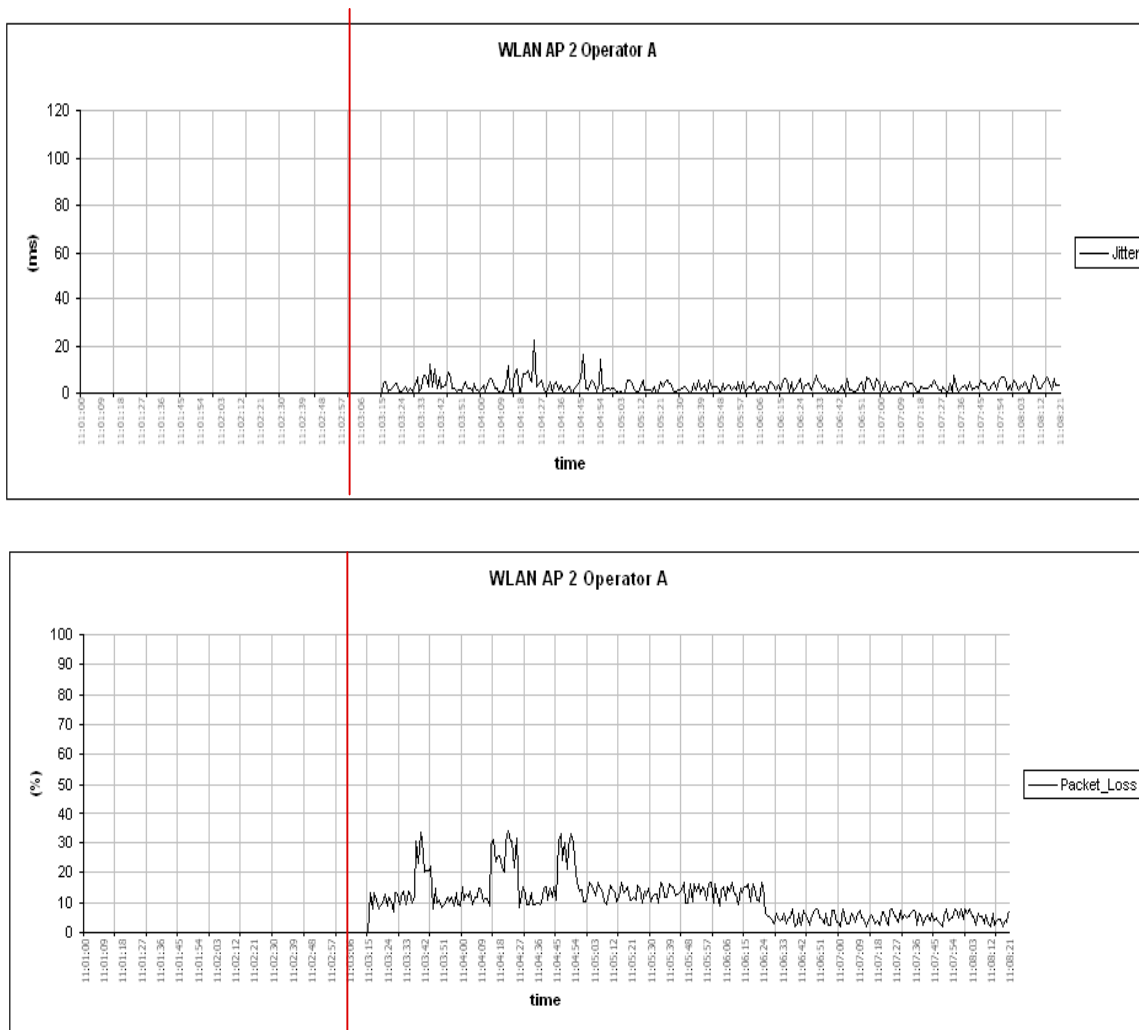
Διάγραμμα 28-4: WLAN AP3 Operator A Mean User Throughput and Delay



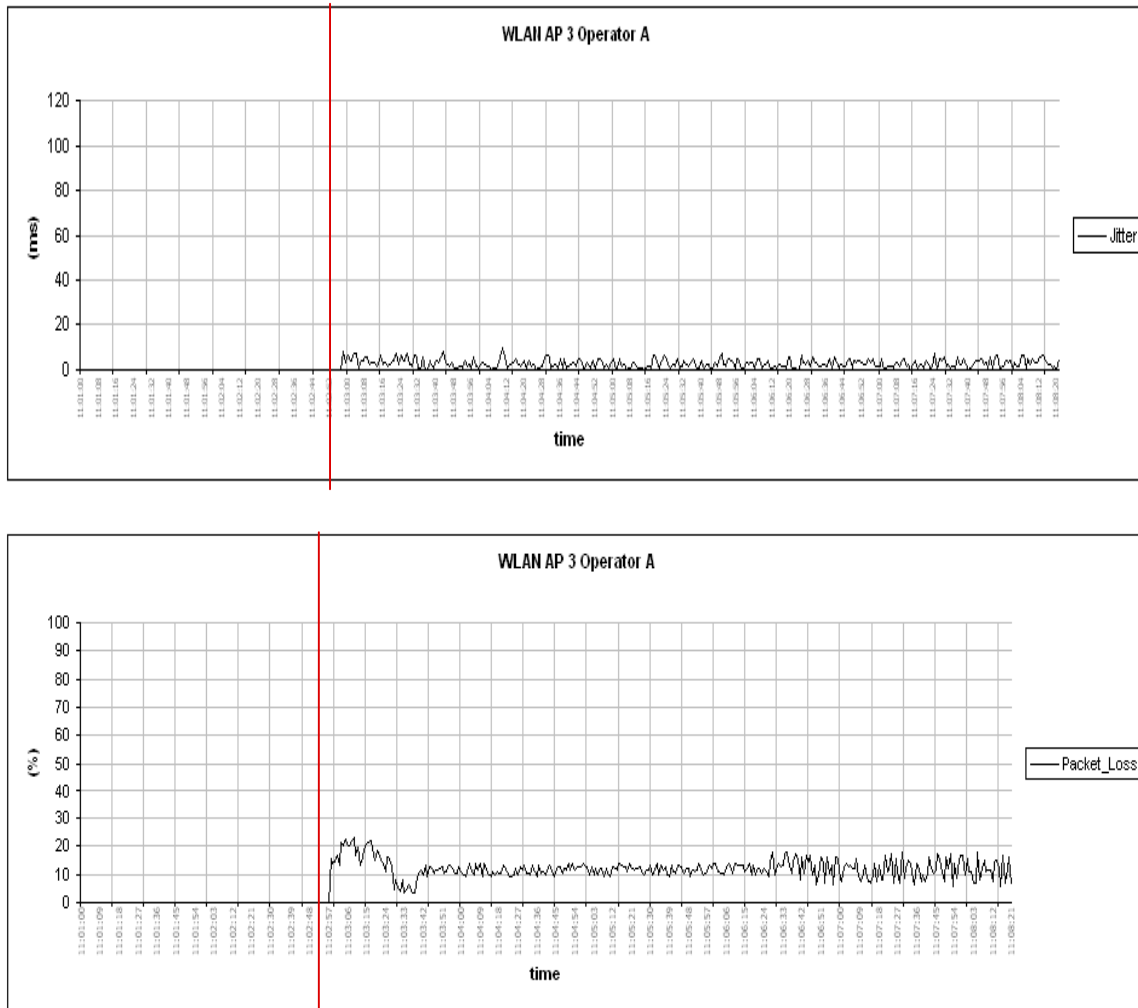
Διάγραμμα 28-5: WLAN Total Operator A Mean User Throughput and Delay



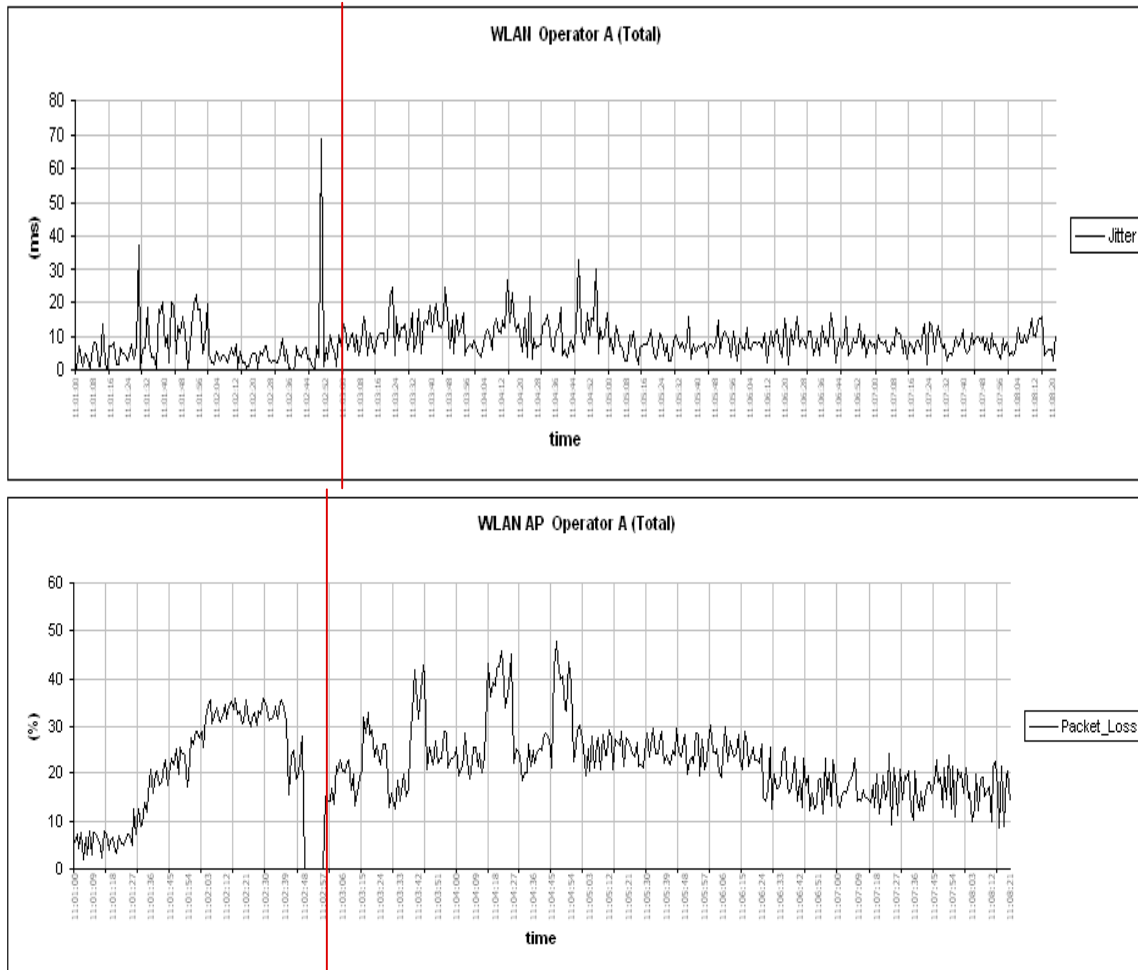
Διάγραμμα 28-6: WLAN AP1 Operator A Jitter and Packet Loss



Διάγραμμα 28-7: WLAN AP2 Operator A Jitter and Packet Loss



Διάγραμμα 28-8: WLAN AP3 Operator A Jitter and Packet Loss



Διάγραμμα 28-9: WLAN Total Operator A Jitter and Packet Loss

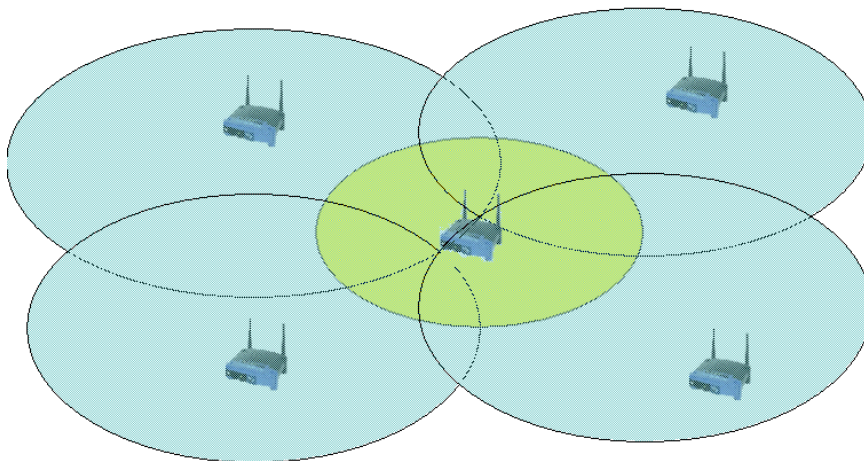
28.6 Τελικά συμπεράσματα

Το συνολικό throughput που μπορούσε να εξυπηρετήσει το δίκτυο πριν την εφαρμογή της τεχνικής ήταν 5301 kbps, με μέσο delay 114 ms. Μετά την εφαρμογή του Dynamic Forced Reselection, το συνολικό throughput που εξυπηρετήθηκε ήταν 10124 kbps και το delay είχε μια μέση τιμή 25 ms.

29 Μηχανισμός αποφυγής και πρόληψης συμφόρησης σε δίκτυα IEEE 802.11

29.1 Εισαγωγή

Η τεχνική που θα χρησιμοποιήσουμε αποσκοπεί στο να εξισορροπήσουμε και να κατανέμουμε ομοιόμορφα τους χρήστες, σε ένα infrastructure WLAN δίκτυο που έχει ένα επαρκές αριθμό γειτονικών σημείων πρόσβασης Access Points (APs). Όπως έχουμε προαναφέρει στα IEEE 802.11 δίκτυα η επιλογή του ασύρματου σημείου πρόσβασης γίνεται βάση της ισχύος του ληφθέντος σήματος. Δηλαδή το AP που έχει το πιο δυνατό σήμα σε μια περιοχή αυτό θα επιλεγθεί για να εξυπηρετήσει τις υπηρεσίες που θέλει ένας χρήστης. Αυτό όμως το κριτήριο δεν είναι και το πιο αποδοτικό όπως τελικά αποδεικνύεται. Διότι μπορεί να έχουμε ένα δίκτυο με πολλά APs, και σε ένα σημείο να έχουμε μεγάλη συγκέντρωση χρηστών που όλοι όμως θα εξυπηρετηθούν από ένα AP, επειδή όλοι βρίσκονται στην κυρίαρχη περιοχή του. Σημειώνουμε όμως ότι το δίκτυο έχει φτιαχτεί έτσι ώστε να υπάρχει επαρκής αλληλοεπικάλυψη των περιοχών εμβέλειας των γειτονικών AP με την κυρίαρχη περιοχή του AP με τους πολλούς χρήστες Σχήμα 29-1



Σχήμα 29-1: Με κίτρινο έχουμε την περιοχή κυριαρχίας και με μπλε τις περιοχές εμβέλειας γειτονικών AP

Αυτός ο μηχανισμός δεν είναι και ο πιο αποδοτικός, διότι ενώ τα γειτονικά AP μπορούν να καλύψουν την περιοχή κυριαρχίας, όλοι οι χρήστες κλειδώνουν και εξυπηρετούνται μόνο στο κυρίαρχο AP. Αυτό όμως οδηγεί συχνά σε φαινόμενα να έχουμε πολλούς χρήστες σε ένα AP το οποίο πολύ γρήγορα θα απέρθει σε κατάσταση συμφόρησης και θα έχουμε σημαντική μείωση του QoS προς τους χρήστες, την στιγμή που θα μπορούσαν αυτοί να ανά-κατανεμηθούν στα γειτονικά AP.

Οι προαναφερθείσες τεχνικές μπορούν να αντιμετωπίσουν αυτό το φαινόμενο αφού γίνει Monitoring του δικτύου, ανιχνευθεί το πρόβλημα και αφού παρθεί η απόφαση από το σύστημα εκτελείται η τεχνική και έχουμε επίλυση του προβλήματος. Τονίζουμε ότι για κάποιο χρονικό διάστημα υπάρχει συμφόρηση στο δίκτυο η οποία αντιμετωπίζεται με τις παραπάνω τεχνικές. Σε αυτό το χρονικό διάστημα που ο χρόνος ποικίλλει ανάλογα το σενάριο, είναι αρκετός μερικές φορές να δημιουργήσει αρκετά προβλήματα.

Για να αποφευχθούν όλα αυτά, προτείνουμε ένα μηχανισμό αποφυγής και πρόληψης της συμφόρησης. Συγκεκριμένα, προτείνουμε κάθε AP να εκπέμπει προς τους χρήστες μαζί με το ESS (Extended Service Set) και το BSS (Base Station Set) που περιέχεται στα ειδικά πλαίσια beacon και την πληροφορία σχετικά με την τηλεπικοινωνιακή κατάσταση του AP.

Έτσι το κριτήριο που θα έχει ένας χρήστης ως προς την επιλογή του AP δεν θα είναι μόνο η ισχύς του ληφθέντος σήματος, αλλά και το τηλεπικοινωνιακό του φορτίο. Έτσι με ένα κατάλληλο αλγόριθμο μπορούμε να επιτύχουμε έναν βέλτιστο μηχανισμό επιλογής AP.

29.2 Ανάλυση του βελτιωμένου μηχανισμού επιλογής σημείου πρόσβασης σε ασύρματα τοπικά δίκτυα.

Κάθε ασύρματο σημείο πρόσβασης AP εκπέμπει περιοδικά κάποια πλαίσια που ονομάζονται beacon frames. Η παράμετρος Beacon Interval ορίζει την περιοδικότητα με την οποία θα στέλνονται τα frames. Συνήθως είναι 100 ms, που σημαίνει ότι σε 1 sec έχουν αποσταλεί 10 frames όταν δεν υπάρχει κίνηση στο AP. Αυτά είναι πλαίσια διαχείρισης και μπορούν να χαρακτηριστούν σαν τα πιο «ζωτικής» σημασίας πλαίσια διαχείρισης. Το τυπικό μήκος ενός beacon frame είναι περίπου 50 bytes. Η επικεφαλίδα περιέχει την MAC διεύθυνση του αποστολέα (AP) και την διεύθυνση broadcast FF:FF:FF:FF:FF:FF. Αυτά ισχύουν για τα Infrastructure δίκτυα στα οποία και εφαρμόζουμε τον μηχανισμό. Επίσης στο beacon frame έχουμε και άλλα πεδία, όπως:

- **Beacon interval** 16 bit Το χρονικό διάστημα μεταξύ δυο διαδοχικών beacon frames
- **Timestamp** 64 bit Χρησιμοποιείται για συγχρονισμό. Συγκεκριμένα κάθε σταθμός που λαμβάνει ένα beacon ενημερώνει το τοπικό του ρολόι έτσι ώστε όλοι οι σταθμοί να είναι απόλυτα συγχρονισμένοι.
- **Service Set Identifier (SSID)** Είναι το όνομα του δικτύου. Για να επιλέξει ένα χρήστης το AP, θα πρέπει έχει ορίσει το αντίστοιχο SSID.
- **Supported rates** Μεταδίδει πληροφορία για τους ρυθμούς που μπορεί να υποστηρίξει το AP.
- **Parameter Sets** Πληροφορία σχετικά με τεχνικές ιδιότητες του δικτύου. Δεν χρησιμοποιείται στα 802.11b,g,a Στα παλιότερα 802.11 δίκτυα που χρησιμοποιούσαν αναπήδηση συχνότητας αναφέρονταν ποιο σχήμα χρησιμοποιούταν.
- **Capability Information** 16 bit Σε αυτό το πεδίο αναφέρονται ιδιότητες που πρέπει να υποστηρίζονται από τον client έτσι ώστε να κλειδώσει στο AP.
- **Traffic Indication Map (TIM)** Πληροφορία που παρέχει πληροφορία για σταθμούς που έχουν ενεργοποιημένο την εξοικονόμηση ενέργειας. Δηλαδή παρέχει σύντομη πληροφορία έτσι ώστε ένας σταθμός σε power save να μην χρειάζεται να ακούει συνεχώς όλα τα πλαίσια και να βλέπει ποιο είναι το δικό του, κάτι που αυξάνει την κατανάλωση.

Έτσι εκτός από την παραπάνω πληροφορία, προτείνουμε να μεταφέρεται με την κατάλληλη κωδικοποίηση και πληροφορία σχετικά με το τηλεπικοινωνιακό φορτίο που έχει ένα AP. Δηλαδή στο beacon frame μαζί με τα προκαθορισμένα πεδία από το πρωτόκολλο IEEE 802.11, θα υπάρχουν νέα πεδία που θα μεταφέρουν την τηλεπικοινωνιακή κατάσταση του AP.

Τα κυριότερα στοιχεία που θα πρέπει να αναφέρει το AP μέσω του beacon interval στους «επίδοξους» χρήστες πριν το χρησιμοποιήσουν θα πρέπει να είναι, ο αριθμός των χρηστών (number_of_users) που εξυπηρετούνται και το average throughput utilization ανά διάστημα 2 λεπτών. Αυτά τα στοιχεία θα συλλέγονται από την αρμόδιο monitoring στοιχείο του δικτύου και θα δίνονται στο AP έτσι ώστε να προσαρτώνται στο beacon frame.

Η κωδικοποίηση που θα χρησιμοποιηθεί για τον αριθμό χρηστών θα χρειαστεί μήκος 8 bits. Δηλαδή το πεδίο που αναφέρει τον αριθμό των χρηστών θα μπορεί να πάρει τιμές από 0 – 255.

Η κωδικοποίηση για το throughput utilization θα είναι αλλά 4 bits. Δηλαδή θα μπορούμε να έχουμε 16 διαφορετικές τιμές (0 - 15) για να «απεικονίσουμε» τιμές του throughput.

Ο αλγόριθμος που θα δίνει το throughput είναι ο παρακάτω και θα υπολογίζονται στην πλατφόρμα του monitoring.

$$\text{Average_throughput_utilization} = \text{int}\left(16 \cdot \frac{\text{average_Throughput_in_last_2_min}}{\text{Maximum_Throughput_of_network}}\right)$$

, όπου το throughput μετράται σε kbps

Π.χ Αν το average_Throughput_in_last_2_min ήταν 2500 kbps και το Maximum_Throughput_of_network, ήταν 5500 kbps, τότε η κωδικοποιημένη τιμή του Average_throughput_utilization θα ήταν ίση με 7 ή 0111.

Δηλαδή αν ένα δίκτυο δεν έχει τηλεπικοινωνιακή κίνηση τότε η τιμή του Average_throughput_utilization θα είναι 0 ή 0000. Αν έχουμε πλήρη τηλεπικοινωνιακό φορτίο στο AP μέσα στο χρονικό διάστημα των 2 min, τότε το Average_throughput_utilization είναι 15 ή 1111.

29.2.1 Τροποποιημένος μηχανισμός AP Reselection

Ο αλγόριθμος που χρησιμοποιεί μια ασύρματη κάρτα για τον μηχανισμό επιλογής του βέλτιστου σημείου πρόσβασης είναι:

$$RX \text{ επίπεδο (νέο AP)} > RX \text{ επίπεδο (παλαιό AP)} + \text{Access_Point_Reselect_Hysteresis}$$

Η παράμετρος Access_Point_Reselect_Hysteresis είναι μια μη παραμετροποιήσιμη τιμή, που είναι διαφορετική σε κάθε κατασκευαστή WI-FI σε κατασκευαστή.

Για τις ανάγκες του νέο μηχανισμού πρόληψης και αποφυγής συμφόρησης, ορίζουμε έναν νέο μηχανισμό AP reselection.

Αρχικά, ορίζεται ένας σύνθετος δείκτης που θα αποτελείται από το RX level που λαμβάνει ο client του AP και από της δυο επιπλέον τιμές number_of_users και Average_throughput_utilization.

Η νέα τιμή ονομάζεται Q και η τιμή της υπολογίζεται ως εξής :

$$Q = RXLevel(dBm) - 2 \cdot \text{Average_throughput_utilization} - \text{Number_of_users}$$

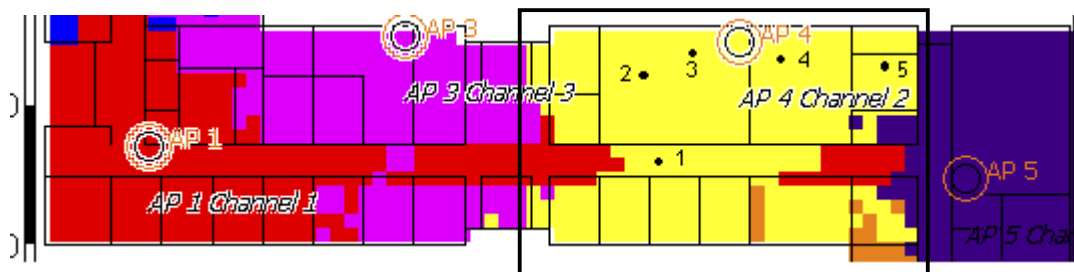
Έτσι το ο νέος μηχανισμός επιλογής AP θα είναι

$$Q(\text{νέο AP}) > Q(\text{παλαιό AP}) + \text{Access_Point_Reselect_Hysteresis}$$

Παρατηρούμε ότι για τον υπολογισμό της τιμής Q πολλαπλασιάζουμε το $\text{Average_throughput_utilization}$ με ένα παράγων ίσο με το 2. Αυτό γίνεται διότι αυτός ο δείκτης αντιπροσωπεύει άμεσα την τηλεπικοινωνιακή κατάσταση του AP σε σχέση με το δείκτη Number_of_users .

16.5 Εφαρμογή της τεχνικής και παραδείγματα

Με την βοήθεια του προγράμματος WINPROP, το οποίο έχει την δυνατότητα να κάνει προσομοίωση της ραδιοκάλυψης σε ασύρματα τοπικά δίκτυα, προσομοιώνουμε την ραδιοκάλυψη του ραδιοδικτύου WonderLAND που καλύπτει με IEEE 802.11b σταθμούς την Πολυτεχνειούπολη και υπολογίζουμε την περιοχή κυριαρχίας κάθε σημείου πρόσβασης, σε μια συγκεκριμένη περιοχή. Σημειώνουμε ότι οι περιοχές εμβέλειας των γειτονικών APs επικαλύπτουν σχεδόν πλήρως την κυρίαρχη περιοχή κάθε AP.



Σχήμα 29-2: Προσομοιάζει των περιοχών κυριαρχίας των APs

Στο Σχήμα 29-2 ,με τα διαφορά χρώματα βλέπουμε την περιοχή κυριαρχίας των τεσσάρων APs. Με μαύρες κουκκίδες συμβολίζουμε μερικούς τυχαίους χρήστες.

Παρακάτω θα υπολογίσουμε την παράμετρο Q για κάθε ένα από τους χρήστες και τα γειτονικά AP 3 και AP 5. Όπως βλέπουμε στα γειτονικά AP δεν υπάρχουν χρήστες. Επίσης στο AP 4 έχουμε 5 χρήστες με $\text{Average_throughput_utilization}$ 3000 Kbps.

Έτσι για το AP4 έχουμε : $\text{Number_of_users}=5$ και $\text{Average_throughput_utilization}=6$
Θεωρούμε σαν $\text{Maximum_Throughput_of_network} = 5000$ kbps

$$Q_{\text{user,AP}} = \text{RXLevel}(dBm) + 2 \cdot \text{Average_throughput_utilization} - \text{Number_of_users}$$

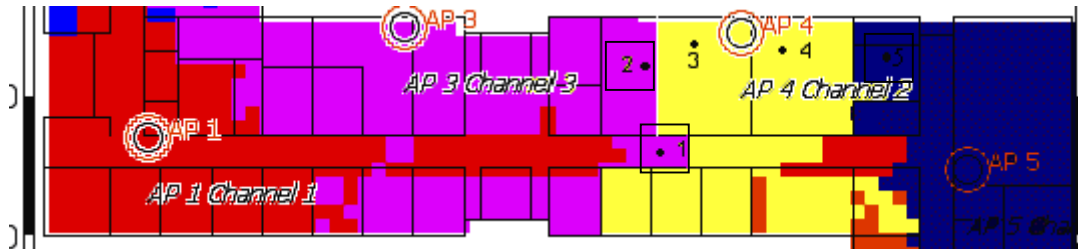
<p>Για το χρήστη 1 έχουμε :</p> $Q_{1,4} = -75 - 2 \cdot 6 - 5 = -92$ $Q_{1,3} = -81$ $Q_{1,5} = -95$	<p>Για το χρήστη 2 έχουμε :</p> $Q_{2,4} = -65 - 2 \cdot 6 - 5 = -82$ $Q_{2,3} = -78$ $Q_{2,5} = -99$	<p>Για το χρήστη 3 έχουμε :</p> $Q_{3,4} = -53 - 2 \cdot 6 - 5 = -70$ $Q_{3,3} = -92$ $Q_{3,5} = -95$
<p>Για το χρήστη 4 έχουμε :</p> $Q_{4,4} = -52 - 2 \cdot 6 - 5 = -69$ $Q_{4,3} = -96$ $Q_{4,5} = -92$	<p>Για το χρήστη 5 έχουμε :</p> $Q_{5,4} = -79 - 2 \cdot 6 - 5 = -96$ $Q_{5,3} = -99$ $Q_{5,5} = -81$	

Βάση της νέας σχέσης για την επιλογή AP έχουμε :

Q (νέο AP) > Q (παλιό AP) + Access_Point_Reselect_Hysteresis,

Όπου Access_Point_Reselect_Hysteresis = 2 dB

Στο παρακάτω Σχήμα 29-3 φαίνεται η κατανομή των χρηστών μετά την εφαρμογή της νέας τεχνικής.



Σχήμα 29-3: Κατανομή των χρηστών σύμφωνα με το κριτήριο Q

Παρατηρούμε ότι στο AP 4 που είχε όλους τους χρήστες έχουν μείνει μόνο δυο χρήστες και οι άλλοι 3 έχουν κατανεμηθεί στα γειτονικά AP.

29.3 Πλεονεκτήματα / Μειονεκτήματα

Ο νέος αυτός μηχανισμός έχει το πλεονέκτημα ότι μπορεί να εξασφαλίσει υψηλό QoS σε ένα ασύρματο δίκτυο IEEE 802.11, εφόσον αυτό αποτελείται από ένα επαρκές αριθμό APs που αλληλεπικαλύπτονται. Με αυτόν τον μηχανισμό σχεδόν εξαλείφεται η πιθανότητα να έχουμε συμφόρηση στο δίκτυο, αφού οι χρήστες ισο-κατανέμονται όσο το δυνατό καλύτερα σε όλα τα AP του δικτύου.

Ένα μειονέκτημα αυτού του μηχανισμού είναι ότι χρειάζεται εκτός από την τροποποίηση του AP έτσι ώστε να εμπεριέχει την κωδικοποιημένη πληροφορία Number_of_users και Average_throughput_utilization στο beacon frame, να μπορούν και οι client να υπολογίζουν την νέα παράμετρο Q. Αυτό όπως είναι κατανοητό θα πρέπει να γίνει standardization και να εφαρμοστεί από όλους τους κατασκευαστές.

7

29.4 Εναλλακτική λύση

Μια λύση σε αυτό θα ήταν η εξής: Κάθε client αφού επιλέξει από το RX level κριτήριο το καλύτερο AP τότε πριν κλειδώσει σε αυτό στέλνει **Reassociation request frame**. Δηλαδή ένα frame στο οποίο αναφέρονται διάφοροι παράμετροι του client. Τώρα αν το υποψήφιο AP υποστηρίζει αυτά που αναφέρει ο client στέλνει ένα **Reassociation response frame** με το οποίο αποδέχεται τον client. Επίσης αναλαμβάνει να στείλει τα frame εκείνα που εκκρεμούν για μετάδοση από το παλιό AP.

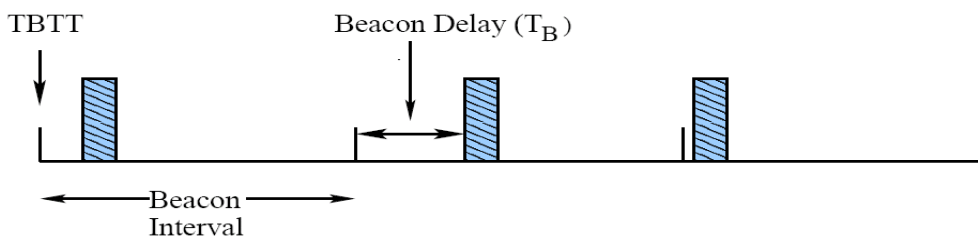
Στην δική μας περίπτωση για να μπορέσουμε να έχουμε ένα παρόμοιο μηχανισμό χωρίς όμως να χρειάζεται να το υποστηρίζουν και οι client, μπορούμε να θέσουμε κάποια κατώφλια στις τιμές Average_throughput_utilization και Number_of_users, έτσι ώστε πάνω από κάποιες συγκεκριμένες τιμές το AP να στέλνει αρνητικά **Association response frame** και **Reassociation response frame**, έτσι ώστε να μην κλειδώνουν πάνω στο προβληματικό AP περισσότεροι χρήστες.

30 Μηχανισμός αποφυγής και πρόληψης συμφόρησης με υπολογισμό του throughput από τον client.

Σε αυτό το κεφαλαίο προτείνουμε έναν εναλλακτικό μηχανισμό με τον οποίο μπορούμε να επιτύχουμε έναν μηχανισμό αποφυγής συμφόρησης, όπως στην προηγούμενη τεχνική. Εδώ διαφέρουμε στο γεγονός ότι δεν χρειάζεται στο δίκτυο να υπάρχει μια κεντρική μονάδα Monitoring. Ο υπολογισμός των διαφόρων δεικτών γίνεται από την μεριά των χρηστών. Συγκεκριμένα προτείνουμε έναν νέο μηχανισμό επιλογής AP που θα λαμβάνει υπόψη όχι μόνο το επίπεδο του λαμβανόμενου σήματος από ένα AP, αλλά και το τρέχον throughput.

30.1 Περιγραφή του μηχανισμού

Όπως γνωρίζουμε κάθε AP εκπέμπει περιοδικά κάποια beacon frames, τα οποία μεταφέρουν διαχειριστική πληροφορία για το δίκτυο καθώς και παρέχει ένα συγχρονισμό στα επιμέρους ρολόγια των χρηστών. Τα frame αυτά εκπέμπονται περιοδικά, εφόσον δεν υπάρχουν δεδομένα προς μεταφορά Σχήμα 30-1.



Σχήμα 30-1: Beacon frames εκπεμπόμενα από το AP

Η χρονική στιγμή TBTT (Target Beacon Transmission Time) είναι η στιγμή 0 (μηδέν) για το συγχρονισμό του δικτύου. Η καθυστέρηση T_B είναι ο χρόνος ανταγωνισμού που χρειάζεται ένα frame για να εκπεμφθεί από το AP.

Τώρα από την επιπλέον καθυστέρηση που μπορεί να έχει ένα beacon frame από ένα άλλο, μπορούμε να συμπεράνουμε το ποσοστό που είναι απασχολημένο το AP για την μετάδοση δεδομένων. Έτσι από αυτές τις καθυστερήσεις μπορούμε έμμεσα να υπολογίσουμε του downlink throughput του AP. Για τον ακριβή υπολογισμό θα θεωρήσουμε δυο περιπτώσεις. Στην πρώτη περίπτωση έχουμε ένα δίκτυο που δεν χρησιμοποιεί RTS/CTS flags και στην δεύτερη περίπτωση ένα δίκτυο που χρησιμοποιεί RTS/CTS.

Ο παρακάτω Πίνακας 30-1 περιέχει τους χρόνους αναλυτικά που θα χρησιμοποιήσουμε για τους υπολογισμούς μας.

T	Συνολική χρονική καθυστέρηση εκπομπής ενός frame
T_D	Χρονική καθυστέρηση μεταξύ μιας προγραμματισμένης εκπομπής και της τελικής λήψης από τον δέκτη
T_A	Χρονική καθυστέρηση ενός ACK Frame από τον παραλήπτη στον αποστολέα
T_B	Συνολική χρονική καθυστέρηση ανταγωνισμού μεταξύ data frame
Data, RTS , CTS	Το μήκος κάθε πλαισίου αντίστοιχα.
R	Ο ρυθμός αποστολής των Data frame
R_b	Ο βασικός ρυθμός αποστολής των Control frame
B	Μέγιστος throughput

Πίνακας 30-1: Λειτουργικά χρονικά διαστήματα για το IEEE 802.11b

30.1.1 Δίκτυο χωρίς RTS/CTS

Δεδομένου ότι δεν έχουμε Αποστολή RTS/CTS, η συνολική καθυστέρηση εκπομπής υπολογίζεται από τον χρόνο ανταγωνισμού στην μετάδοση, και τη καθυστέρηση από ένα ACK.

$$T = T_D + T_{ACK}$$

Το T_D υπολογίζεται από την σχέση $T_D = T_B + \frac{DATA}{R}$

Το $T_{ACK} = SIFS + \frac{ACK}{R_b}$, όπου το SIFS (Single InterFrame Space)

Έτσι τελικά το τρέχον throughput υπολογίζεται :

$$B = \frac{DATA}{T} = \frac{DATA}{T_B + \frac{DATA}{R} + SIFS + \frac{ACK}{R_b}}$$

30.1.2 Δίκτυο με RTS/CTS

Σε ένα δίκτυο που έχουμε ανταλλαγή RTS/CTS flags, η συνολική καθυστέρηση θα είναι ίση.

$$T = T_{RTS} + T_{CTS} + T_D + T_{ACK}$$

$$T_{RTS} = T_B + \frac{RTS}{R_b} \quad \text{και} \quad T_{CTS} = SIFS + \frac{CTS}{R_b}$$

Επίσης στην προκείμενη περίπτωση το $T_D = SIFS + \frac{DATA}{R}$, επειδή έχει προηγηθεί το RTS.

Έτσι έχουμε :

$$B = \frac{DATA}{T} = \frac{DATA}{T_B + \frac{RTS}{R_b} + SIFS + \frac{CTS}{R_b} + SIFS + \frac{DATA}{R} + SIFS + \frac{ACK}{R_b}} = \frac{DATA}{T_B + 3 \cdot SIFS + \frac{RTS + CTS + ACK}{R_b} + \frac{DATA}{R}}$$

30.2 Τροποποιημένος μηχανισμός AP Reselection

Ομοίως με την προηγούμενη μέθοδο έχουμε, την νέα τιμή που ονομάζεται Q και υπολογίζεται ως εξής :

$Q = RXLevel(dBm) - f \cdot B$, όπου f bandwidth factor με τιμές από 0 – 5.

Με το bandwidth factor ο χρήστης μπορεί να επιλέγει το βάρος του απαιτούμενου throughput σε σχέση με την ένταση του λαμβανόμενου σήματος.

Έτσι το ο νέος μηχανισμός επιλογής AP θα είναι

$Q(\text{νέο AP}) > Q(\text{παλαιό AP}) + \text{Access_Point_Reselect_Hysteresis}$

Σημείωση:

Από τις παραπάνω σχέσεις μπορούμε να υπολογίσουμε θεωρητικά την επίπτωση που έχει ο μηχανισμός RTS/CTS στο throughput ενός IEEE 802.11b δίκτυο όταν δεν έχουμε συνθήκες “hidden node”

$$T_{overhead} = \frac{T_B + \frac{DATA}{R} + SIFS + \frac{ACK}{R_b}}{T_B + \frac{RTS}{R_b} + SIFS + \frac{CTS}{R_b} + SIFS + \frac{DATA}{R} + SIFS + \frac{ACK}{R_b}} \cdot 100 \%$$

31 Βιβλιογραφία

- [1] Μ.Ε. Θεολόγου, «Δίκτυα κινητών και Προσωπικών Επικοινωνιών», Εκδόσεις ΕΜΠ
- [2] V.H. MacDonald, “The Cellular Concept”, Bell System Technical Journal 58, pp. 15-41, January 1979
- [3] S. Tekinay and B. Jabbari, “Handover and Channel Assignment in Mobile Cellular Networks”, IEEE Communications Magazine 29(11), pp. 42–46, November 1991
- [4] M. Rahnema, “Overview of the GSM System and Protocol Architecture”, IEEE Communications Magazine, April 1993.
- [5] Bernhard H. Walke, “Mobile Radio Networks: Networking and Protocols”, John Wiley & Sons, 1999.
- [6] Temple, J., Mc Grath,S., Burkley, C.J., “ The Pan-European GSM signalling requirements for the Abis interface”. Proceedings of 44th IEEE Vehicular Technology Conference, Stockholm, June pp. 775 – 779, 1994.
- [7] R. Verdone, A. Zanella, "Performance of Directed Retry in a Mobile Radio System: the Impact of Propagation", ITC2000, pp. 167-171, Acapulco, MEX, May 2000.
- [8] T.-S. P. Yum and K.L. Yeung, “Blocking and Handoff Performance Analysis of Directed Retry in Cellular Mobile Systems”, IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 44, No. 3, pp. 645-650, August 1995
- [9] W.C.Y. Lee, “New Cellular Schemes for Spectral Efficiency”, IEEE Transactions on Vehicular Technology”, Vol. 36, November 1987.
- [10]ETSI, “Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Mobile Station - Base Station System (MS - BSS) interface; Channel structures and access capabilities”, TS 100 552, GSM 04.03, (v.0.8.1), September 2001.
- [11]ETSI, “Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Mobile radio Interface layer 3 specifications”, TS 100 940, GSM 04.08 (v.7.8.0), October 2000
- [12]ETSI-GSM 05.08 Digital cellular telecommunications system (Phase 2+). Radio subsystem link control
- [13]D. Cox and D. Reudink, “Dynamic Channel Assignment in two-dimension Large Scale Mobile Radio Systems”, Bell System Technical Journal 51, pp. 1611-1628, September 1972.
- [14]M. Zhang and T.-S.P. Yum, “Comparisons of Channel-assignment Strategies in Cellular Mobile Telephone Systems”, IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 38, No. 4, pp. 211-215, November 1989.
- [15]D.D. Dimitrijevic and J. Vucetic, “Design and performance analysis of the algorithms for channel allocation in cellular networks”, IEEE Transactions on Vehicular Technology Vol. 42, No. 4, pp. 526–534, November 1993.
- [16]A. Gamst, “Homogeneous Distribution of Frequencies in a Regular Hexagonal Cell System”, IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 31, No. 3, pp. 132–144, 1982.
- [17]Jens Zander, “Radio Resource Management in Future Wireless Networks-Requirements and Limitations”, IEEE Communications Magazine, August 1997.
- [18]J. Uskola, “Strategic Network Planning Process in Transition from GSM to UMTS Technology”, Master’s Thesis, Helsinki University of Technology, Espoo, Finland, 2000.
- [19]Mark Austin, Adrian Buckley, Cameron Coursey, Paul Hartman, Richard Kobylinski, Milap Majmundar, Krister Raith, and James P. Seymour, “Service and System Enhancements for TDMA Digital Cellular Systems”, IEEE Personal Communications Magazine, June 1999.
- [20]Gunnar Heine, “GSM Networks: Protocols, Terminology, and Implementation”, Artech House Publishers
- [21]GSM 02.67 version 7.0.1 Release 1998
- [22]GSM 03.67 version 7.0.0 Release 1998
- [23]AWE Communications, "WinProp Software Suite: ProMan Module User Reference Guide", August 2001
- [24]Universal Mobile Telecommunications System (UMTS);User Equipment (UE) procedures in idle mode and procedures for cell reselection in connected mode (3GPP TS 25.304 version 6.4.0 Release 6)

- [25] Technical Specification Group RAN/UTRAN Functions, Examples on Signaling Procedures (3GPP TR 25.931 version 3.2.0)
- [26] Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); Radio resource management strategies(3GPP TR 25.922 version 5.2.0 Release 5)
- [27] Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); Radio Resource Control (RRC) protocol specification (3GPP TS 25.331 version 6.4.0 Release 6)
- [28] Digital cellular telecommunications system (Phase2+); Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); Mobile radio interface Layer 3 specification; Core network protocols; Stage 3(3GPP TS 24.008 version 5.12.0 Release 5)
- [29] Digital cellular telecommunications system (Phase2+); Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); Mobile radio Layer 3 supplementary service specification; Formats and coding(3GPP TS 24.080 version 5.4.0 Release 5)
- [30] <http://www.teleplan.no/astrix.htm>
- [31] Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); Radio Resource Control (RRC) protocol specification (3GPP TS 25.331 ver 6.4.0 Release 6)
- [32] 3G TS 25.301, "Radio Interface Protocol Architecture"
- [33] 3G TS 25.401, "UTRAN Overall Description"
- [34] 3G TS 25.410, "UTRAN Iu Interface: General Aspects and Principles"
- [35] 3G TS 25.411, "UTRAN Uu Interface: General Aspects and Principles"
- [36] 3G TS 25.420, "UTRAN Iur Interface: General Aspects and Principles"
- [37] Atheros, "Methodology for Testing Wireless LAN Performance with Chariot", October 2003
- [38] IEEE, "Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications", ANSI/IEEE Std 802.11, 2005 Edition
- [39] B. P. Crow, I. Widjaja, J. G. Kim, and P. T. Sakai, "IEEE 802.11 Wireless Local Area Networks", IEEE Communication Magazine, vol. 35, No.9
- [40] Intersil, "HFA3861B; Direct Sequence Spread Spectrum Baseband Processor", January 2000
- [41] Wildpacktets, "Remote Analysis of a Wireless LAN Environment", March, 2003
- [42] IEEE Std. 802.11-1999, Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications, Reference number ISO/IEC 8802-11:1999(E), IEEE Std. 802.11, 1999 edition
- [43] Cisco Systems Inc. Data sheet for cisco aironet 1200 series, 2004
- [44] Yan Chen, Toni Farley and Nong Ye. QoS Requirements of Network Applications on the Internet – IOS Press
- [45] <http://www.awe-communications.com>
- [46] Atheros, "Methodology for Testing Wireless LAN Performance with Chariot"
- [47] G. Judd and P. Steenkiste. Fixing 801.11-access point selection. *Proceedings of ACM Mobicom*, Pittsburgh
- [48] S. Shah, K. Chen, and K. Nahrstedt. Available bandwidth estimation in IEEE 802.11-based wireless networks. In *Proceedings of 1st ISMA/CAIDA Workshop on Bandwidth Estimation (BEst)*, San Diego, Dec 2003.

Παράρτημα Α

Κριτήρια επιλογής και αποτίμησης για τις τεχνικές διαχείρισης και αποσυμφόρησης ραδιοπύλων στα δίκτυα κινητών επικοινωνιών

Σε αυτό το παράρτημα θα συνοψίσουμε τα κριτήρια επιλογής και την αποτίμηση, για κάθε μια από τις τεχνικές αποσυμφόρησης για GSM-GPRS δίκτυα, που περιγράψαμε στην διδακτορική διατριβή.

Τα κριτήρια επιλογής θα γίνουν βάση των εξής στοιχείων:

- i) μέγεθος και έκταση της συμφόρησης
- ii) από τον τύπο των λογικών καναλιών
- iii) από το τηλεπικοινωνιακό φορτίο των γειτονικών κυψελών
- iv) ανάλογα το σενάριο και τον τύπο της συμφόρησης
- v) το χρόνο που χρειάζεται μια τεχνική προκειμένου να επιδράσει

I. Τεχνική αποσυμφόρησης σε αντίθεση με την έκταση του προβλήματος

Κάθε τεχνική περιγράφεται με ένα δείκτη αποδοτικότητας σύμφωνα με την έκταση της συμφόρησης. Η κλίμακα της έκτασης του φαινομένου, χωρίζεται και στην διάρκεια και από τον αριθμό των κυψελών σε συμφόρηση. Πίνακας 1

Techniques	SCALE					
	Time (duration of congestion situation)			Place (number of congested cells)		
	Low	Medium	High	Low	Medium	High
Half Rate	x	x	x	x	x	X
Dynamic SDCCCH	x	x	x	x	x	X
TRX prioritization	x	x	x	x	x	X
Dynamic Cell resizing	x	x	x	x	x	
Bandwidth Reservation	x	x	x	X	x	X
Location Update		x	x	X	x	X
FACCH	x	x	x	X	x	X
Rx Level			x			X
BCCH frequency list	x	x	x	X		

Πίνακας 1: Τεχνικές αποσυμφόρησης σε σχέση με την έκταση της συμφόρησης

II. Τεχνική αποσυμφόρησης σε σχέση με τα λογικά κανάλια

Εδώ συνοψίζουμε την επιλογή της τεχνικής αποσυμφόρησης σε σχέση με τα λογικά κανάλια που έχει εκδηλωθεί το πρόβλημα. Έτσι έχουμε τα λογικά κανάλια AGCH, PCH,SDCCH και TCH. Παρατηρούμε ότι κάποιες από τις τεχνικές είναι κατάλληλες για συμφόρηση σε όλων των τύπων των λογικών καναλιών.

Techniques	Logical Channel (Blocking in:)			
	AGCH	PCH	SDCCH	TCH
Half Rate				x
Forced handover			X	x
Dynamic SDCCH			X ¹	
TRX prioritization				x
Dynamic Cell resizing	x	X	X	x
Bandwidth Reservation	x		X	x
Location Update		X	X	
BCCH frequency list	x	X	X	x
FACCH			X	
Rx Level	x	x	X	x

Πίνακας 2: Εφαρμογή των τεχνικών σε σχέση με την συμφόρηση στα λογικά κανάλια

III. Εφαρμογή της τεχνικής αποσυμφόρησης σε σχέση με τις γειτονικές κυψέλες

Όταν εφαρμόζονται ορισμένες τεχνικές, αυτές αποσκοπούν να αποδώσουν το επιπλέον τηλεπικοινωνιακό φορτίο στις γειτονικές κυψέλες. Στον Πίνακα 3 συνοψίζουμε ποιες τεχνικές επιφορτίζουν τους γείτονες τους.

Techniques	Adjacent Cells (Becoming congested)
Half Rate	
Forced handover	x
Dynamic SDCCH	
TRX prioritization	
Dynamic Cell resizing	x
Bandwidth Reservation	
Location Update	
BCCH frequency list	X
FACCH	
Rx Level	X

Πίνακας 3: Εμπλοκή των γειτονικών κυψελών

IV. Τεχνική αποσυμφόρηση σε σχέση με το σενάριο συμφόρησης

Εδώ θα αντιστοιχίσουμε τις τεχνικές αποσυμφόρησης σε σχέση με διάφορα σενάρια συμφόρησης, τα οποία έχουν κατηγοριοποιηθεί και ονοματοποιηθεί. Έτσι έχουμε σενάρια όπως φυσικές καταστροφές, ατυχήματα, διαδηλώσεις κ.α

Techniques	Traffic load scenarios												
	Busy Hours	Tourist Periods	Bank Holidays	Sport Events	Strikes	Religious/ Cultural Events	Demonstrations	Department stores	Planned Outages	BTS Shortcoming	BSC Shortcoming	Catastrophes	Accidents
Half Rate			x	x	x	x	x	x	x			x	X
Forced handover	x	x	x		x	x	x					x	X
Dynamic SDCCH	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	X
TRX prioritization	x ²	x	x	x	x	x	x		x	x		x	X
Dynamic Cell Resizing C2		x	x	x	x		x		x	x	x	x	X
Location Update		x	x			x			x	x	x	x	
BCCH frequency list	x		x	x	x		x		x	x	x		X
FACCH			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	X
Rx Level			x						x				

Πίνακας 4: RMT vs. Traffic Load Scenarios

V. Τεχνικές αποσυμφόρησης σε σχέση με το GSM 2+ και τις υπηρεσίες

Σε αυτό το κεφάλαιο αναφέρουμε ποιες τεχνικές μπορούν να βελτιώσουν την απόδοση των δικτύων GSM 2+ και συγκεκριμένα των νέων υπηρεσιών HSCSD και GPRS.

Techniques	HSCSD Service	GPRS
Half Rate		
Forced handover	x	
Dynamic SDCCH	x	
TRX prioritization	x	X
Dynamic Cell resizing	x	X
Location Update		
BCCH frequency list	x	X
FACCH	x	
Rx Level	x	X

Πίνακας 5: Τεχνικές αποσυμφόρησης σε σχέση με το HSCSD και GPRS

VI. Τεχνικές αποσυμφόρησης σε σχέση με την ικανοποίηση των χρηστών του δικτύου

Σχεδόν όλες οι τεχνικές φαίνεται ότι έχουν σαν σκοπό να μειωθεί η πιθανότητα αποτυχημένης προσπάθειας μιας κλήσης. Αυτό όμως δεν ισχύει πάντα. Ορισμένες τεχνικές έχουν σαν μόνο σκοπό την μέγιστη αξιοποίηση των πόρων του δικτύου κινητών επικοινωνιών, το οποίο μερικές φορές Πίνακας 6, έρχεται σε αντίθεση με το δείκτη, ικανοποίηση των χρηστών.

Techniques	User Satisfaction
Half Rate	X
Forced handover	X
Dynamic SDCCH	X
TRX prioritization	X
Dynamic Cell resizing	X
Bandwidth Reservation	
Location Update	X
BCCH frequency list	X
FACCH	X
Rx Level	

Πίνακας 6: Τεχνικές και ικανοποίηση των χρηστών

VIII. Τεχνικές αποσυμφόρησης σε σχέση με την διαδικασία ρύθμισης των παραμέτρων

Σε κάποιες τεχνικές, χρειάζεται κάποιες πληροφορίες έτσι ώστε να τεθούν οι σωστές τιμές στις παραμέτρους. Π.χ στην τεχνική μεταβολής της περιοχής κυριαρχίας με την μέθοδο της παραμέτρου C2 θα πρέπει να είναι γνωστό το μοντέλο ραδιοκάλυψης που διέπει την περιοχή ραδιοκάλυψης. Έτσι μπορεί να αποδοθεί η σωστή τιμή στη παραμέτρου της τεχνικής για να μεταβάλλουμε την περιοχή κυριαρχίας με απόλυτη ακρίβεια.

Technique	Parameter	Par	Par.	Par.	Results
<i>Half rate and Full Rate usage</i>	Lower Limit for free TCH/FR resources (0% - 100 %)	Upper Limit for free TCH/FR resources (0% - 100%)			When the lower limit is 0% and the upper limit is 100 % then the HR TCH allocation is disabled. Also the biggest lower limit the operator sets the more TCH/HRs the network has.
<i>Dynamic SDCCH</i>	Dyn. SDCCH Activate - Deactivate				This technique has any specific parameters.
<i>TRX prioritization in TCH allocation</i>	TrxPriority-InTCHAllocation (0 , 1 , 2)				When the TrxPriorityInTCHAllocation is 0 then No prioritization between TRXs; all TRXs are treated equally in TCH allocation. If it is 1 then A traffic channel is allocated primarily from the BCCH TRX. And if it is : A traffic channel is allocated primarily from another TRX than the BCCH TRX.
<i>Dynamic cell resizing with the use of C2 values</i>	Cell Reselect Offset REO (0 dB to 126 dB, in 2 dB steps)	temporary offset TEO (from 0 dB to 70 dB, in 10 dB steps)	Penalty time PET (20 sec – 640 sec, in 20 sec steps)		When the REO is 6 dB and the PET is 240 sec. Then the cell has the half surface coverage from previous state. If the REO is 0 dB, the TEO is 10 dB and the PET is 20 sec, then the C2 value for this cell is going to be $C2=C1-10$ for 20 sec. Starting timing from the moment that the MS receives that list.

Bandwidth Reservation (Differential-Channel allocation)	Trunk reservation used (enabled or disabled) limit for free TCHs (1-16)	Number of traffic channels reserved for Priority subscribers only(0 - 8)			
Location Update	Timer for MS periodic location update (0 –25.5 Hour)	allow IMSI attach detach (Yes or No)			
FACCH call set-up due to SDCCH congestion	enable emergency call on FACCH (Yes or No)	<u>enable answer to paging call on FACCH</u> (Yes or No)	<u>enable ordinary calls on FACCH</u> (Yes or No)	<u>enable call re-establishment on FACCH</u> (Yes or No)	
Rx Level	rxlev access min (-47 - -110 dBm)	C2 parameters			When the operator decreases the Rxlevel 6 dB then the new cell has the half surface coverage. Also when the operator increases the C2 value with the value which he decreases the Rxlevel then the users that are out of the new cell can not access the network.
Modification of BCCH frequency list					The operator have the opportunity to modify the frequency BCCH list of the adjacent cells. Thus the congested cells are be included. The BCCH frequency list could contain up to 16 frequencies.

VIII. Συμβατότητα των τεχνικών με τους διάφορους κατασκευαστές συστημάτων κινητών δικτύων

Στο προηγούμενα κεφάλαια σχεδόν όλες οι τεχνικές συνοδεύονται και από την σύνταξη των εντολών σε Man Machine Language (MML) για το σύστημα BSS της Nokia. Εδώ βλέπουμε τις αντίστοιχες παραμέτρους για τα συστήματα BSS της ERICSSON.

Technique	Vendor Described in this document	Other Vendors
Dynamic SDCCH	Enabled or Disabled	<p>SLEVEL=level Stand Alone Dedicated Control Channel (SDCCH) level Numeral 0 - 2 or CONG Level of remaining SDCCH subchannels when an attempt to increase the number of SDCCH/8 will take place.</p> <p>CONG The attempt to increase the number of SDCCH/8 will take place when allocation of an SDCCH has failed due to congestion.</p> <p>STIME=stime SDCCH time interval Time in seconds: 15 – 360 Minimum time interval before the number of SDCCH/8 added by this function is decreased when SDCCH demand is low.</p>
BCCH frequency list	same	Same
Bandwidth Reservation	<p>A maximum of 64 priority profiles can exist in addition to the permanent default priority profile. Each of this priority profiles contains 10 priority levels.</p> <p>The attempt is granted if the Random value is greater than the defined value for the specific category.</p> <p>The idle resources that are</p>	<p>A maximum of 32 priority profiles can exist in addition to the permanent default priority profile.</p> <p>Each of this priority profiles contains 16 priority levels. For each priority level in a profile the percentage of inaccessible channels and the probability of failure is specified. The priority profile is then connected to a resource type in a specific cell. A resource type is a combination of channel type (TCH,SDCCH) and sub-cell</p>

	<p>count for the implementation of this technique is TCHs.</p>	<p>(overlaid,underlaid/normal) At allocation of a channel, the following rules apply: If the number of idle channels of a certain resource type is equal or less than the number of inaccessible channels specified for the priority level, then the allocation fails. If the number of idle channels of a certain resource type is greater by two than the number of inaccessible channels specified for the priority level, the allocation will succeed. If the number of idle channels of a certain type is one greater than the number of inaccessible channels specified for the priority level, then the allocation will fail with the specific probability. Priority level for emergency calls. Numeral 1 – 15 Categorization between FR,HR SDCCH attempt. The priorities for each of these categories are from 1-7.</p>
<p>RX Level</p>	<p>Same</p>	<p>Same</p>

Πίνακας 8